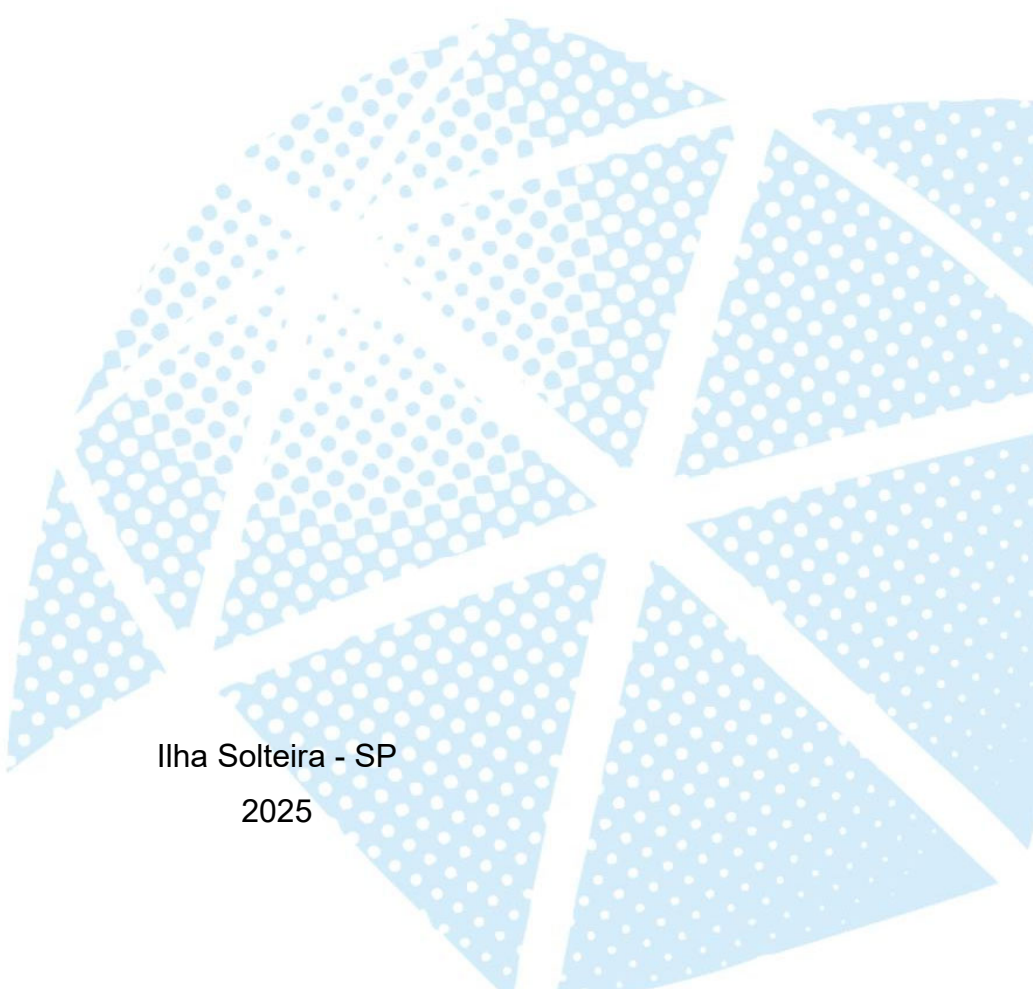


**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

HIGOR DE SOUZA SILVA

**MANTAS ELETROFIADAS DE POLI(ϵ -CAPROLACTONA) E POLI(N-VINIL-2-
PIRROLIDONA) COM BIOATIVOS DE PRÓPOLIS VERMELHA E *Curcuma longa*
L.**

Ilha Solteira - SP
2025



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DOS MATERIAIS

HIGOR DE SOUZA SILVA

MANTAS ELETROFIADAS DE POLI(ϵ -CAPROLACTONA) E POLI(N-VINIL-2-PIRROLIDONA) COM BIOATIVOS DE PRÓPOLIS VERMELHA E *Curcuma longa* L.

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS), Ilha Solteira - SP, para obtenção do título Mestre em Ciência dos Materiais.

Área de Concentração: Química dos Materiais

Orientador: Prof. Dr. Fernando Rogério de Paula

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Ligia Maria Manzine Costa

Ilha Solteira - SP

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

S586m Silva, Higor de Souza.
Mantas eletrofiadas de poli(ε-caprolactona) e poli(N-vinil-2-pirrolidona) com bioativos de Própolis vermelha e Curcuma longa L. / Higor de Souza Silva. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2025
113 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Ciências dos Materiais) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2025

Orientador: Fernando Rogério de Paula
Coorientador: Ligia Maria Manzine Costa
Inclui bibliografia

1. Policaprolactona. 2. Polivinilpirrolidona. 3. Própolis vermelha. 4. Curcuma longa L.. 5. Eletrofiação. 6. Curativos.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

A pesquisa possui um impacto abrangente, unindo avanços científicos e técnicos na engenharia de biomateriais com aplicações médicas inovadoras. O desenvolvimento de uma blenda de PCL/PVP com própolis vermelha e cúrcuma pode resultar em curativos funcionais e sistemas de liberação de fármacos, beneficiando a saúde pública. Seu caráter inovador impulsiona a sustentabilidade, substituindo aditivos sintéticos por compostos naturais, e fortalece a economia ao possibilitar novas aplicações industriais.

No campo educacional e cultural, promove a valorização de recursos naturais, incentivando pesquisas interdisciplinares. A inserção local, regional e nacional se dá pelo uso de insumos brasileiros, especialmente a própolis vermelha. A internacionalização ocorre por meio da contribuição à ciência global em biomateriais, favorecendo colaborações acadêmicas. Assim, a pesquisa alia desenvolvimento sustentável, inovação tecnológica e impacto socioeconômico, fortalecendo o conhecimento e a aplicação de biomateriais avançados.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

The research has a broad impact, combining scientific and technical advances in biomaterials engineering with innovative medical applications. The development of a PCL/PVP blend with propolis and turmeric could lead to functional dressings and drug delivery systems, benefiting public health. Its innovative nature promotes sustainability by replacing synthetic additives with natural compounds and strengthens the economy by enabling new industrial applications.

In the educational and cultural fields, it enhances the value of natural resources, encouraging interdisciplinary research. Local, regional, and national integration is achieved through the use of Brazilian raw materials, especially red propolis. Internationalization is fostered by contributing to global biomaterials science, facilitating academic collaborations. Thus, the research integrates sustainable development, technological innovation, and socio-economic impact, strengthening knowledge and the application of advanced biomaterials.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

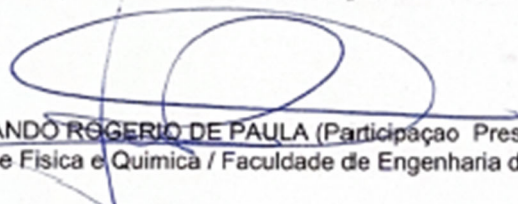
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: MANTAS ELETROFIADAS DE POLICAPROLACTONA
E POLIVINILPIRROLIDONA COM BIOATIVOS DE PRÓPOLIS VERMELHA E
Curcuma longa L.

AUTOR: HIGOR DE SOUZA SILVA

ORIENTADOR: FERNANDO ROGERIO DE PAULA

COORDINADORA: LIGIA MARIA MANZINE COSTA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciência dos Materiais,
área: Ciência e Engenharia dos Materiais pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. FERNANDO ROGERIO DE PAULA (Participação Presencial)
Departamento de Física e Química / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Profa. Dra. VANESSA DE ANDRADE ROYO (Participação Virtual)
Laboratório de Produtos Naturais / Universidade Estadual de Montes Claros - Unimontes

Prof. Dr. WALLANCE MOREIRA PAZIN (Participação Virtual)
Departamento de Física e Meteorologia / Faculdade de Ciências - UNESP

Ilha Solteira, 14 de agosto de 2025

Dedico aos meus pais, que sob muito sol,
me fizeram chegar até aqui,
na sombra.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Fernando Rogério, pela orientação, apoio, confiança, pelo incentivo constante e por todo conhecimento compartilhado em todas as etapas deste ciclo. Por ser exemplo de honestidade e responsabilidade, agradeço.

À minha coorientadora, Prof^a. Dr^a. Ligia Manzine, sou grato imensamente pelo carinho, dedicação e valiosos ensinamentos de aula e vida. Por todas as conversas, pela paciência, por me acalmar e incentivar em todos os momentos.

À minha mãe, Aparecida, e ao meu pai, José, por estarem sempre ao meu lado, pelo apoio, amor, confiança e paciência, por me derem forças para continuar, por nunca medirem esforços.

À minha amiga Jacqueline, por estar sempre comigo, por me escutar, independentemente da distância, e por, mesmo com suas inúmeras responsabilidades, sempre me dedicar tempo e apoio.

Aos meus amigos Nicole, Laisa, Luis, Pedro Vítor e Érica, por me incentivarem em cada momento de desânimo e por tornarem essa jornada mais leve.

À Eloisa, pela amizade, companheirismo e aprendizado, aos colegas de laboratório e ao grupo de pesquisa, pela ajuda e parceria.

Ao técnico Elton, às professoras Cibely, Márcia e Liliane, e aos alunos do Laboratório de Fisiologia do Metabolismo Vegetal (LMFV), pelo suporte com os equipamentos e auxílio nas análises.

À professora Ana, à Kaila e aos demais colaboradores do Departamento de Farmacologia da UNESP de Araraquara, por todos os ensaios biológicos e pelas trocas de conhecimento.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciência dos Materiais e todos os professores do Departamento de Física e Química, pelo esforço, paciência e ensinamentos transmitido ao longo da pós-graduação.

A todos que, de alguma forma, me auxiliaram em algum momento na realização deste trabalho.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de pesquisa (processo 131445/2024-3).

Agradeço à Deus, por me dar muito mais do que preciso, por me abençoar muito mais do que mereço.

"Científico é uma coisa programada, criação uma coisa que nasce. Nasce com a gente, nasce com as nossas dores, nasce com as nossas neuroses, com os nossos sorrisos... não, não... criação é uma coisa muito importante. O científico também é, só que... o científico é científico, né?"

(Maysa, 1975)

RESUMO

A busca por biomateriais com propriedades terapêuticas tem sido um campo crescente de pesquisa, especialmente no desenvolvimento de curativos funcionais que favoreçam a cicatrização e a prevenção de infecções. Neste estudo, foram desenvolvidas mantas eletrofiadas a partir de blendas de poli(ϵ -caprolactona) (PCL) e poli(N-vinil-2-pirrolidona) (PVP), com a incorporação de bioativos de própolis vermelha e *Curcuma longa* L., visando promover atividade antibacteriana e acelerar o processo de cicatrização. A caracterização dos extratos revelou elevados teores de compostos bioativos, com a própolis vermelha apresentando 231,3 mg EAG/g de fenóis totais, 31,8 mg QE/g de flavonoides e capacidade antioxidante de 90,29% pelo ensaio do radical DPPH, enquanto a *Curcuma longa* L. apresentou 42,4 mg EAG/g de fenóis, 13,6 mg QE/g de flavonoides e capacidade antioxidante de 58,46%, indicando o potencial desses compostos na neutralização de radicais livres. Para os testes de concentração inibitória mínima (CIM) e concentração bactericida mínima (CBM), os extratos propenderam a inibição de patógenos Gram-positivos e as matrizes poliméricas eletrofiadas potencializaram a capacidade inibitória. As mantas foram obtidas pela técnica de eletrofiação, apresentando microfibras com diâmetro médio de 1,79 μ m, caracterizadas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). As interações entre os compostos bioativos e a matriz polimérica foram analisadas por Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR), enquanto as propriedades térmicas foram avaliadas por Análise Termogravimétrica (TGA) e Análise Derivada Termogravimétrica (DTG), indicando a imiscibilidade das blendas. Os ensaios mecânicos demonstraram que a adição de PCL aumentou a resistência do PVP, conferindo melhor desempenho mecânico ao biomaterial. A molhabilidade da blenda revelou que a incorporação de PVP reduziu a sua hidrofobicidade, tornando-a mais hidrofílica, mesmo com a adição dos compostos funcionais. Além disso, os estudos de liberação mostraram uma dispersão mais acentuada dos compostos bioativos nas primeiras horas. Por fim, os resultados obtidos indicam que as mantas eletrofiadas desenvolvidas possuem propriedades promissoras para aplicação em curativos funcionais, com potencial para otimizar o processo de cicatrização e prevenir infecções.

Palavras-chave: Policaprolactona; Polivinilpirrolidona; Própolis vermelha; *Curcuma longa* L.; Eletrofiação; Curativos.

ABSTRACT

The search for biomaterials with therapeutic properties has been a growing field of research, particularly in the development of functional dressings that promote wound healing and infection prevention. In this study, electrospun mats were developed from blends of poly(ϵ -caprolactone) (PCL) and poly(N-vinyl-2-pyrrolidone) (PVP), incorporating bioactive compounds from red propolis and *Curcuma longa* L. to promote antibacterial activity and accelerate the healing process. The characterization of the extracts revealed high levels of bioactive compounds, with red propolis presenting 231.3 mg EAG/g of total phenols, 31.8 mg QE/g of flavonoids, and an antioxidant capacity of 90.29% according to the DPPH radical assay, while *Curcuma longa* L. exhibited 42.4 mg EAG/g of phenols, 13.6 mg QE/g of flavonoids, and an antioxidant capacity of 58.46%, indicating the potential of these compounds in neutralizing free radicals. "For the minimum inhibitory concentration (MIC) and minimum bactericidal concentration (MBC) tests, the extracts showed a tendency to inhibit Gram-positive pathogens and the electrospun polymeric matrices enhanced the inhibitory capacity.. The mats were obtained using the electrospinning technique, presenting microfibers with an average diameter of 1.79 μ m, characterized by Scanning Electron Microscopy (SEM). The interactions between the bioactive compounds and the polymer matrix were analyzed by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), while the thermal properties were evaluated using Thermogravimetric Analysis (TGA) and Derivative Thermogravimetric Analysis (DTG), indicating the immiscibility of the blends. Mechanical tests demonstrated that the addition of PCL increased the strength of PVP, improving the mechanical performance of the biomaterial. Wettability tests revealed that the incorporation of PVP reduced the hydrophobicity of the blend, making it more hydrophilic, even with the addition of the functional compounds. Additionally, release studies showed a more pronounced release of bioactive compounds in the initial hours. The results indicate that the developed electrospun mats exhibit promising properties for application in functional dressings, with the potential to enhance the wound healing process and prevent infections.

Keywords: Polycaprolactone; Polyvinylpyrrolidone; Red propolis; *Curcuma longa* L.; Electrospinning; Wound dressings.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Prótese de dedo do pé de madeira, do início do primeiro milênio a.C. – Museu Egípcio do Cairo.....	22
Figura 2 – Sistema interdisciplinar dos biomateriais.....	23
Figura 3 – Representação esquemática da formação e estrutura do polietileno.....	25
Figura 4 – Síntese de poli(ϵ -caprolactona) a partir de ϵ -caprolactona ou ácido 6-hidróxi-hexanóico	27
Figura 5 – Polimerização do monômero N-vinilpirrolidona	28
Figura 6 – Formação de mistura mecânica (blenda)	29
Figura 7 – Abelhas produzindo a própolis vermelha.....	31
Figura 8 – Estrutura química da curcumina. <i>Curcuma longa</i> : rizoma e pó	32
Figura 9 – Sistema esquemático de eletrofiação	34
Figura 10 – Etapas do processo de eletrofiação e formação do cone de Taylor ...	35
Figura 11 – Sistema esquemático para o processo de extração	39
Figura 12 - Procedimentos para a determinação da capacidade antibacteriana dos extratos e eluatos liberados pela manta	44
Figura 13 – Modelo esquemático adotado no processo de eletrofiação	46
Figura 14 – Mantas eletrofiadas contendo variações de 5, 10, 15 e 20% do extrato de própolis vermelha	47
Figura 15 – Mantas eletrofiadas contendo variações de <i>C. longa</i>	48
Figura 16 – Manta eletrofiada de PCL/PVP com própolis vermelha e <i>Curcuma longa</i>	49
Figura 17 – Curva de calibração do ácido gálico para determinação de fenóis totais e ajuste	54
Figura 18 – Curva de calibração de quercetina para determinação de flavonoides e ajuste	57
Figura 19 – Perfil da capacidade antioxidante dos extratos de própolis vermelha e <i>Curcuma longa</i> L.	59
Figura 20 – Imagem e diâmetro das fibras de PCL puro	69
Figura 21 – Imagem e diâmetro das fibras de PVP puro	69
Figura 22 – Imagem e diâmetro das fibras de 75% PCL 25% PVP.....	69
Figura 23 – Imagem e diâmetro das fibras de 50% PCL 50% PVP	70
Figura 24 – Imagem e diâmetro das fibras de 25% PCL 75% PVP	70

Figura 25 – Imagem e diâmetro das fibras de PCL/PVP com 5% de própolis vermelha	72
Figura 26 – Imagem e diâmetro das fibras de PCL/PVP com 10% de própolis vermelha	72
Figura 27 – Imagem e diâmetro das fibras de PCL/PVP com 15% de própolis vermelha	72
Figura 28 – Imagem e diâmetro das fibras de PCL/PVP com 20% de própolis vermelha	63
Figura 29 – Imagem e diâmetro das fibras de PCL/PVP com 2% de <i>Curcuma longa</i>	75
Figura 30 – Imagem e diâmetro das fibras de PCL/PVP com 5% de <i>Curcuma longa</i>	75
Figura 31 – Imagem e diâmetro das fibras de PCL/PVP com 10% de <i>Curcuma longa</i>	76
Figura 32 – Imagem e diâmetro das fibras de PCL/PVP com 15% de própolis vermelha e 2% de <i>Curcuma longa</i>	77
Figura 33 – Espectros FTIR das mantas contendo PCL, PVP, extrato de própolis vermelha e <i>Curcuma longa</i> L.	78
Figura 34 – Curvas de TGA (a) e DTG (b), para PCL, PVP e suas respectivas blendas	82
Figura 35 – Curvas de TGA (a) e DTG (b), para blenda 25% PCL 75% PVP com a incorporação de própolis vermelha e <i>Curcuma longa</i> L.	83
Figura 36 – Curvas tensão-deformação das mantas de PCL, PVP e suas blendas (a) com diferentes concentrações de própolis vermelha e <i>Curcuma longa</i> L. (b)	85
Figura 37 – Perfil de liberação de fenóis para os extratos de própolis vermelha e <i>Curcuma longa</i> incorporados à blenda de 25% PCL 75% PVP	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Curva padrão de flavonoides	41
Tabela 2 – Variação da composição da matriz polimérica	45
Tabela 3 – Variação do extrato de própolis vermelha na composição da matriz polimérica	47
Tabela 4 – Variação de <i>Curcuma longa</i> na composição da matriz polimérica	48
Tabela 5 – Composição polimérica e proporção de bioativos incorporados	49
Tabela 6 – Rendimento do processo de extração da própolis vermelha	53
Tabela 7 – Teor de fenóis totais	55
Tabela 8 – Teor de flavonoides	57
Tabela 9 – CIM e CBM para os extratos de própolis vermelha e <i>Curcuma longa</i> L.	61
Tabela 10 – CIM e CBM para mantas poliméricas de própolis vermelha e <i>Curcuma longa</i> L.....	62
Tabela 11 – Diâmetro médio e desvio padrão das fibras compostas por PCL e PVP	68
Tabela 12 – Diâmetro médio e desvio padrão das blendas poliméricas variando a porcentagem de própolis vermelha	73
Tabela 13 – Diâmetro médio e desvio padrão das blendas poliméricas variando a porcentagem de <i>Curcuma longa</i> L.	75
Tabela 14 – Propriedades mecânicas das mantas eletrofiadas	86

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASTM	Sociedade Americana de Testes e Materiais
ATR	Refletância Total Atenuada
CIM	Concentração Inibitória Mínima
CLSI	Instituto de Padronização Clínica e Laboratorial
cm	Centímetro
DPPH	2,2-difenil-1-picrilhidrazil
DMSO	Dimetilsulfóxido
DTG	Derivada da Análise Termogravimétrica
EAG	Equivalentes de Ácido Gálico
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FTIR	Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier
g	Grama
h	Hora
KBr	Brometo de Potássio
KV	Quilovolt
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
min	Minuto
mL	Mililitro
M _m	Massa molecular
mm	Milímetro
Mpa	Megapascal
m/m	Massa/massa
nm	Nanômetro
PBS	Solução Salina Tamponada com Fosfato
PCL	Poli(ε-caprolactona)
PVOH	Poli(álcool vinílico)
PDLLA	Poli(D,L-ácido láctico)
PVP	Polivinilpirrolidona
QE	Equivalentes de Quercetina
R ²	Coeficiente de Determinação
Tf	Temperatura de fusão
Tg	Transição vítrea

TGA	Análise Termogravimétrica
v/v	Volume/volume
µg	Micrograma
µL	Microlitro
µm	Micrômetro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	18
2	OBJETIVOS	21
2.1	OBJETIVO GERAL	21
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
3.1	BIOMATERIAIS	22
3.1.1	Policaprolactona (PCL)	26
3.1.2	Polivinilpirrolidona (PVP).....	27
3.1.3	Blendas poliméricas de PCL/PVP	28
3.2	BIOATIVOS.....	30
3.2.1	Própolis Vermelha	30
3.2.2	<i>Curcuma longa</i> L.....	32
3.3	ELETROFIAÇÃO	33
3.3.1	Engenharia de tecidos	36
4	MATERIAIS E MÉTODOS	38
4.1	MATERIAIS.....	38
4.2	MÉTODOS.....	38
4.2.1	Processo de extração da própolis vermelha concentrada.....	38
4.2.2	Caracterização da <i>Curcuma longa</i> L. e própolis vermelha.	39
4.2.2.1	Fenóis Totais	39
4.2.2.2	Teor de Flavonoides	40
4.2.2.3	Capacidade Antioxidante.....	42
4.2.2.4	Concentração inibitória mínima (CIM) e Concentração Bactericida Mínima (CBM)	42
4.2.3	Formulação da blenda polimérica (PCL\PVP).....	45
4.2.3.1	Incorporação da própolis vermelha na matriz polimérica	46
4.2.3.2	Incorporação da <i>Curcuma longa</i> L. na matriz polimérica	48
4.2.3.3	Incorporação da própolis vermelha e <i>Curcuma longa</i> L. na matriz polimérica	49
4.2.4	Caracterização das mantas eletrofiadas	50
4.2.4.1	Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	50
4.2.4.2	Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR).....	50
4.2.4.3	Análise termogravimétrica (TGA)	50
4.2.4.4	Ensaio mecânicos	51
4.2.4.5	Molhabilidade	51
4.2.4.6	Teste de liberação de fenóis.....	52
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
5.1	EXTRAÇÃO DA PRÓPOLIS VERMELHA.....	53
5.1.1	Extração e rendimento da própolis vermelha.....	53
5.2	CARACTERIZAÇÃO DA <i>CURCUMA LONGA</i> L. E PRÓPOLIS VERMELHA.....	54

5.2.1	Fenóis totais	54
5.2.2	Teor de flavonoides	56
5.2.3	Capacidade Antioxidante	59
5.2.4	Concentração Inibitória Mínima (CIM) e Concentração Bactericida Mínima (CBM)	61
5.3	CARACTERIZAÇÃO DAS MANTAS ELETROFIADAS	67
5.3.1	Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	67
5.3.1.1	Blenda polimérica PCL/PVP	67
5.3.1.2	Blenda de PCL/PVP incorporada com própolis vermelha	71
5.3.1.3	Blenda de PCL/PVP incorporada com <i>Curcuma longa</i> L.	74
5.3.1.4	Blenda de PCL/PVP incorporada com própolis vermelha e <i>Curcuma longa</i> L.	76
5.3.2	Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)	77
5.3.3	Análise termogravimétrica (TGA)	81
5.3.4	Ensaio mecânicos	85
5.3.5	Molhabilidade	87
5.3.6	Liberação de fenóis	90
6	CONCLUSÃO	93
	REFERÊNCIAS	95

1 INTRODUÇÃO

Os biomateriais possuem uma relação intrínseca com os polímeros na aplicação da engenharia de tecidos, visando ao desenvolvimento de novos produtos fundamentais para avanços na área. O aprimoramento contínuo desses biomateriais possibilita o surgimento de novas propriedades, como a otimização de suportes para crescimento celular (*"scaffolds"*), favorecendo a adesão celular e a formação tecidual mais adequada ao corpo humano [1]. Contudo, o desenvolvimento do suporte pode ser acrescido de bioativos e nanomateriais que por coesão possam ter eficiência biológica e viabilidade para aplicação em diferentes áreas da medicina regenerativa [2].

No campo da medicina os polímeros se destacam pela vasta aplicabilidade na instrumentação cirúrgica, implantes e equipamentos [3]. Em especial a aplicação de nanofibras poliméricas biocompatíveis, cuja estrutura permite não apenas o armazenamento, mas também a liberação controlada de fármacos e bioativos, em resposta a estímulos internos ou externos [4]. Na composição dessas estruturas poliméricas os poliésteres alifáticos lineares tais como poli(D,L-ácido láctico) (PDLLA) e poli(ϵ -caprolactona) (PCL), assim como o poli(álcool vinílico) (PVOH), são os mais empregados devido à alta eficiência na biodegradabilidade e biocompatibilidade [5]. A poli(N-vinil-2-pirrolidona) (PVP) é outro polímero biocompatível com grande facilidade de complexação com fármacos que possui relevantes características tais como, forte estabilidade, solúvel em água e atóxico [6, 7]. Esses biomateriais são excelentes alternativas para o processamento de curativos, pois apresentam fluidez e coesão suficientes, ou seja, preenchem a ferida e podem ser removidos intactos sem que ocorra dano ao tecido lesionado [8].

Fibras poliméricas podem se tornar curativos funcionais devido a sua porosidade, que pode permitir a troca gasosa entre ferida e meio externo, característica fundamental para o processo de cicatrização [4]. Esses curativos fibrosos podem ser classificados como interativos, passivos, inteligentes e avançados, diferenciando-se pelo tipo de lesão a ser tratada e pela forma de regeneração. No entanto, todas atuam com o mesmo propósito, impedir a proliferação de microrganismos e promover a eficiência na cicatrização [9]. De acordo com o método empregado para a obtenção dos curativos fibrosos, algumas propriedades podem ser exploradas e potencializadas, como ocorre no caso da utilização da técnica de eletrofiação. Essa

técnica possibilita a formação de mantas fibrosas uniformes orientadas, capazes de transportar nutrientes, medicamentos e bioativos incorporados em sua estrutura até o ferimento através da camada densa e porosa que se forma [10]. O processo de eletrofiação consiste na formação de um campo elétrico aplicado à ponta da agulha de uma seringa contendo a solução polimérica. Esse campo elétrico promove o transporte da solução para o coletor, que se encontra a uma distância adequada para permitir a evaporação do solvente e formação das fibras composta pela mistura de componentes adicionado à solução [11].

As fibras poliméricas produzidas pela técnica de eletrofiação possibilitam uma incorporação de múltiplos compostos ativos os quais podem atuar por diferentes modos de liberação [4]. A utilização de bioativos enriquece a estrutura, podendo ser liberados por estímulos externos como a luz, ou internos como pH, temperatura e umidade. Essas características aprimoram o desenvolvimento dos curativos poliméricos melhorando o desempenho de sua aplicação e favorecendo resultados clínicos [12].

Um bioativo com infinitos benefícios a serem explorados e descobertos no desenvolvimento de curativos é a própolis. Por ser derivada das plantas, o ambiente em que a colmeia está inserida influencia consideravelmente nas suas propriedades bioativas, o que torna necessário novos estudos. Sua produção é altamente variável sofrendo ações do clima, vegetação e genética das abelhas [13].

Diferentes estudos científicos demonstram que a própolis, incluindo a própolis vermelha, apresenta atividades bactericidas, bacteriostáticas, antifúngicas, analgésicas, cicatrizantes, anti-inflamatórias, antioxidantes, entre outras. Essas características conferem à própolis importantes propriedades farmacológicas para aplicação em curativos [14], ressaltando seu efeito inibitório em bactérias Gram-positivas [15].

Cerca de 4.000 substâncias distintas já foram classificadas como flavonoides, incluindo apigenina, quercetina, hesperetina, rutina, luteolina, genisteína, daidzeína, antocianidina, kaempferol, entre outras. A presença e a concentração desses compostos são utilizadas como indicadores da qualidade dos diferentes tipos de própolis [16].

Embora exista uma variedade de própolis provenientes de diferentes regiões geográficas, que possuem propriedades distintas, alguns exemplares têm despertado o interesse científico devido ao seu potencial terapêutico. Dentre eles, a própolis

vermelha brasileira proveniente de Alagoas e produzida pela abelha *Dalbergia ecastaphyllum* (L.) se destaca como um excelente exemplo [17]. Este produto apícola singular é conhecido pela sua rica concentração de flavonoides e compostos fenólicos, que contribuem para os seus potentes efeitos anti-inflamatórios, antioxidantes e antimicrobianos.

Em conjunto com a própolis, outro composto bioativo com atributos semelhantes e propriedades antimicrobianas é a *Curcuma longa* L. (ou açafrão-da-terra). Além de seu uso como especiaria e conservante de alimentos, a cúrcuma, por possuir princípios bioativos, tem ganhado destaque considerável em produtos farmacêuticos [18]. Seu consumo pode oferecer uma fonte dietética rica em nutrientes, vitaminas, proteínas e minerais [19]. Diversos estudos indicam que a cúrcuma tem propriedades medicinais excepcionais, como atividade antibacterianas, anticancerígenas, anti-inflamatórias, antivirais entre outras atividades biológicas [20, 21]. A curcumina, polifenol abundante presente no açafrão, pode ser um agente eficaz no combate a bactérias Gram-negativas [22].

A combinação dos princípios ativos da própolis e da cúrcuma visa a obtenção de sinergia, ou seja, a cooperação mútua no combate a espécies bacterianas classificadas em dois grupos: Gram-positivas e Gram-negativas, que se distinguem pela coloração Gram e pelas características da parede celular [23].

Os organismos Gram-positivos (coloração roxa) constituem um grupo de bactérias heterogêneas com formato esférico e ausência de endósporos, sendo responsáveis por infecções devido à sua grande resistência bacteriana. Sua característica principal é a parede celular grossa que envolve a membrana citoplasmática composta por ácidos teicoico e peptidoglicanos. Exemplos de microrganismos Gram-positivos são *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus spp.*, e *Enterococcus spp.* [24-25].

Quanto aos organismos Gram-negativos (coloração vermelha), sua parede celular é mais delgada e envolve duas membranas, uma externa, e outra interna. A membrana contém moléculas de lipopolissacarídeos conferindo a célula complexidade superficial. Exemplos de bactérias Gram-negativas são *Escherichia coli* e *Salmonella choleraesuis*. [24, 26].

O combate a esses microrganismos está diretamente associado à regeneração de tecidos em feridas, já que eles impedem a proliferação e diferenciação celular. Com o objetivo de combinar bioativos e polímeros, este trabalho apresenta o desenvolvimento de estruturas denominadas “*scaffolds*”, biomateriais de grande

porosidade, biocompatíveis e que imitam o tecido natural da pele [27]. Essas estruturas serão desenvolvidas com a finalidade de promover o crescimento celular e inibir o crescimento bacteriano e inflamações por meio da liberação controlada de fármacos.

Por fim, este trabalho propõe a utilização da própolis vermelha associada à cúrcuma na elaboração de um biomaterial nanotecnológico, com o objetivo de potencializar as propriedades de cada composto e explorar a sinergia entre os bioativos. Estes princípios ativos serão aplicados na regeneração de tecidos, visando o desenvolvimento de um possível substituto dérmico.

2 OBJETIVOS

Neste tópico serão abordados os objetivos gerais e específicos almejados neste trabalho.

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver mantas eletrofiadas de poli(ϵ -caprolactona) (PCL) com características hidrofílicas de poli(N-vinil-2-pirrolidona) (PVP) e incorporar bioativos de própolis vermelho e *Curcuma longa* L. com o objetivo de promover atividade antibacteriana.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Produzir fibras homogêneas de PCL/PVP, incorporando uma maior quantidade de bioativos, sem modificar a estrutura fibrilar e caracterizá-la por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

Caracterizar os fenóis, flavonoides e compostos antioxidantes presentes na própolis vermelha e *Curcuma longa* L. e caracterizá-las por Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR).

Avaliar propriedade térmicas por Analisador termogravimétrico (TGA).

Avaliar as propriedades mecânicas por meio de ensaio de tração.

Verificar a hidrofobicidade da amostra (molhabilidade e liberação).

Analisar a atividade antibacteriana frente as bactérias Gram positivas e Gram negativas, tanto para os extratos quanto para o composto bioativo liberado.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 BIOMATERIAIS

Ao longo da história, biomateriais foram definidos de diversas formas, havendo indícios de seu uso em suturas de linho, próteses de madeira e ouro no Antigo Egito (2000 a.C.) (Figura 1) e de intestino de gatos, na Europa, durante a Idade Média, bem como em dentes artificiais feitos de conchas pelos maias (600 a.C.), de ferro pelos franceses (200 a.C.) e de ouro e madeira por romanos, chineses e astecas [28]. Atualmente, na área da saúde, esses materiais representam a uma fração significativa de utilização em aproximadamente 300 mil produtos há cerca de 10 anos, possuindo uma grande relevância econômica, médica e social [29].

Figura 1 - Prótese de dedo do pé de madeira, do início do primeiro milênio a.C.– Museu Egípcio do Cairo.

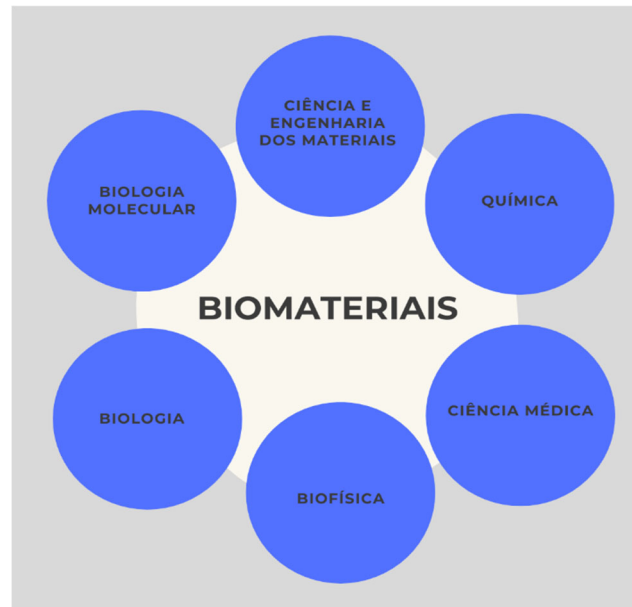


Fonte: Matjaž Kačičnik / University of Basel – História National Geographic (2017).

Define-se biomaterial como qualquer substância, ou conjunto delas, que possa interagir com sistemas biológicos com a finalidade de tratar, ampliar ou substituir tecidos, órgãos ou funções corporais [30]. Suas propriedades incluem biocompatibilidade, biofuncionalidade, propriedades mecânicas, resistência a corrosão e resposta imunitária, que se classificam conforme reagem em relação ao

tecido hospedeiro sendo biotoleráveis, bioativos, bioinertes e biodegradáveis, e se aplicam em diversas áreas multidisciplinares (Figura 2) [31].

Figura 2 - Sistema interdisciplinar dos Biomateriais.



Fonte: Adaptado (2025) (Kiran, S. K.; Ramakrishana, S.; 2021).

Dentro dessa abordagem multidisciplinar, os biomateriais são classificados em quatro grupos: metais, cerâmicos, compósitos e polímeros [29].

Os materiais metálicos são amplamente reconhecidos por suas excepcionais propriedades mecânicas, como resistência, e se destacam pela condução térmica e elétrica. Além dessas propriedades quase todos os biomateriais metálicos são de natureza cristalina, ou seja, possuem arranjos atômicos regulares [31]. Na área da saúde, esses materiais são empregados em situações que exigem alta rigidez e resistência a esforços mecânicos elevados, como em próteses, implantes dentários e placas de titânio. Dentre os mais utilizados destacam-se o aço inoxidável, o titânio comercialmente puro, ligas de titânio e ligas à base de cobalto [32, 33].

Em relação aos biomateriais cerâmicos, esses são de origem de matérias-primas argilosas por meio de um processo denominado queima. Trata-se de materiais inorgânicos compostos por elementos metálicos e não metálicos, quimicamente ligados entre si por ligações iônicas, ou predominantemente iônicas, com um grau variável de caráter covalente [34-35]. Os biomateriais cerâmicos podem apresentar estrutura cristalina ou amorfa, dependendo da sua composição. Destacam-se pela alta

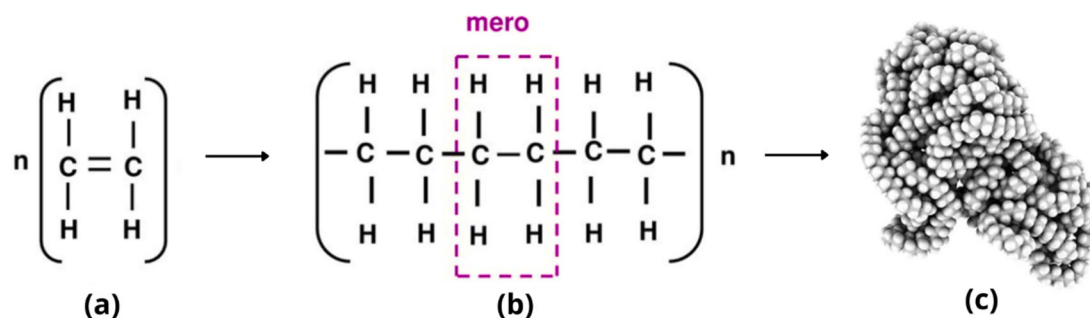
rigidez, resistência e dureza, além de apresentarem excelente comportamento isolante e resistência tanto a altas temperaturas quanto ao desgaste e à degradação química. A maioria das biocerâmicas é biocompatível e não reativa dentro de um corpo vivo, porém possuem baixa tenacidade, indicando certa fragilidade [36, 37]. Entre as suas diversas aplicações, sobressaem-se em aplicações odontológicas e ortopédicas. Nessas áreas, são projetados para mimetizar as propriedades mecânicas dos tecidos circundantes, o que contribui para uma maior estabilidade dos implantes a longo prazo [33]. A alumina (Al_2O_3) e a zircônia (ZrO_2) são dois óxidos cerâmicos de maior relevância para aplicações biomédicas, sendo amplamente utilizados em substituições de tecidos ósseos e articulares em razão da elevada resistência ao desgaste e excelente biocompatibilidade [39, 40].

Os compósitos são materiais de engenharia formados por dois ou mais componentes, com naturezas físicas e/ou químicas distintas, que são combinados e distribuídos de maneira a produzir um material com propriedades físicas distintas das dos componentes individuais. Essa combinação é projetada para conferir ao compósito características superiores, intangíveis pelos materiais isolados [41]. Devido a essas propriedades, os compósitos são aplicados à problemas de maior complexidade, como na produção de componentes de tecidos que devem ser capazes de suportar grandes cargas. Exemplos da utilização desses compósitos incluem a reconstrução de crânios e o reparo de fraturas ósseas, como nas articulações do joelho, tornozelo e quadril [42]. A principal vantagem dos biocompósitos em relação aos metais e materiais cerâmicos decorre das limitações destes últimos, como a corrosão nos metais, a fragilidade e a baixa resistência à fratura nas cerâmicas. Dessa forma, os materiais compósitos oferecem uma solução alternativa, permitindo a melhoria de várias propriedades indesejáveis presentes em materiais homogêneos, como fragilidade e baixa resistência mecânica [43].

Por fim, os polímeros, orgânicos ou sintéticos, são definidos como macromoléculas formadas por uma grande quantidade de unidades repetitivas conectadas por ligações covalentes, essas unidades básicas são conhecidas como meros. Dependendo de sua estrutura química, os polímeros podem ser classificados em três principais categorias: plásticos, fibras e borrachas [44]. Suas propriedades estão diretamente relacionadas a diversos fatores, como o peso molecular, o grau de polimerização (número de unidades repetitivas que determina o comprimento da cadeia), a estrutura molecular (linear, ramificada, reticulada ou em rede), grau de

cristalinidade e o tipo de processo de polimerização empregado [34]. A Figura 3 ilustra, em três etapas, a estrutura do polietileno. Em (a), o monômero de etileno; em (b), a cadeia polimérica linear formada pela repetição do mero; e em (c), a representação de uma cadeia polimérica emaranhada, característica dos polímeros no estado sólido.

Figura 3 – Representação Esquemática da Formação e Estrutura do Polietileno



Fonte: Autor (2025).

Ao contrário dos polímeros sintéticos, que são obtidos a partir de fontes não renováveis, como o petróleo, alguns polímeros são naturalmente produzidos por organismos vivos, incluindo plantas, animais e fungos. Esses polímeros são denominados biopolímeros, que são produzidos por meio de processos metabólicos intracelulares complexos, que envolvem reações catalisadas por enzimas e etapas de polimerização [45]. Os biopolímeros têm ampla aplicabilidade nas áreas biomédicas devido à sua baixa toxicidade, facilidade de processamento pré e pós-produção, viabilidade de esterilização e suas notáveis propriedades físicas e químicas [31].

Devido à sua viabilidade e versatilidade, os polímeros possuem como principais aplicações a engenharia de tecidos, regeneração e substituição de ossos, dentes e pele, bem como a liberação controlada de fármacos. Além disso, esses materiais apresentam diversas características e propriedades que permitem sua adaptação a diferentes tipos de tecidos [46]. Comumente são empregados na forma de *scaffolds*, hidrogéis, fibras, esponjas, e espumas [47].

A associação de dois ou mais polímeros pode aprimorar suas propriedades, resultando na formação de blendas poliméricas com desempenho melhorado. Esse fenômeno ocorre devido à capacidade das blendas de combinar as características desejáveis de diferentes materiais, levando à melhoria das propriedades mecânicas, térmicas e de processamento [48]. Um exemplo é a combinação de poli(ϵ -caprolactona) (PCL) e polivinilpirrolidona (PVP) que têm sido explorada na engenharia

de tecidos devido às propriedades complementares [49]. Estudos demonstraram que a eletrofiação de blendas de PCL/PVP resulta em *scaffolds* com propriedades mecânicas aprimoradas e maior taxa de degradação, o que é benéfico para a regeneração de tecidos e liberação controlada de medicamentos [50].

3.1.1 Policaprolactona (PCL)

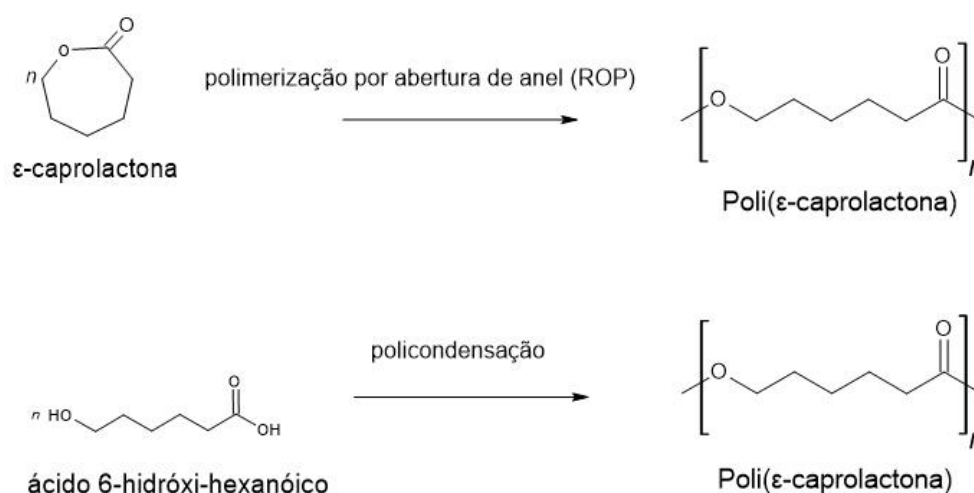
A PCL é um poliéster alifático derivado do petróleo sintetizado a partir da ϵ -caprolactona, amplamente conhecido por sua biocompatibilidade e biodegradabilidade. Destaca-se devido à facilidade de inserção de substituintes, fármacos e outros bioativos em sua estrutura, devido a suas adequadas propriedades mecânicas e elevada permeabilidade. É normalmente utilizado para aplicações terapêuticas, curativos para feridas, dispositivos de regeneração nervosas, administração de medicamentos estruturas para engenharia de tecidos, suturas e tratamento para queimaduras [51, 52]. A taxa de degradação do PCL é responsável pelo sucesso de suas aplicações, onde esse material pode ser absorvido facilmente pelo corpo do paciente [53].

É um polímero semicristalino que pode ajustar sua cristalinidade com base em seu peso molecular, onde seu aumento reflete no comprimento das cadeias. Possui ponto de fusão relativamente baixo quando comparado a outros poliésteres alifáticos, em 60 °C e transição vítrea em -60 °C, isso se deve às baixas interações intermoleculares e a alta mobilidade dos segmentos da cadeia. Em temperatura ambiente apresenta comportamento elástico, o que facilita no manuseio de diversas formas estruturais [54-56].

A síntese desses polímeros, pode ser obtida por dois métodos principais: pela policondensação do ácido 6-hidróxi-hexanóico ou pela polimerização por abertura de anel (ROP) do monômero da ϵ -caprolactona, exemplificados na Figura 4 [54]. A síntese por policondensação ocorre sob vácuo com a remoção de água durante a formação do polímero, sendo esse método menos usual. Quanto a ROP, alguns mecanismos de polimerização podem ser empregados: aniônicos, catiônicos, radicais e coordenação, oferecendo inúmeras vantagens, incluindo maior grau de polimerização e peso molecular, e menor polidispersão. Diferentes catalisadores

podem ser utilizados para interagir com o monômero para ativar a abertura do anel da ϵ -caprolactona, incluindo orgânicos, metálicos ou enzimáticos [53, 55-58].

Figura 4 – Síntese de poli(ϵ -caprolactona) a partir de ϵ -caprolactona ou ácido 6-hidróxi-hexanóico.



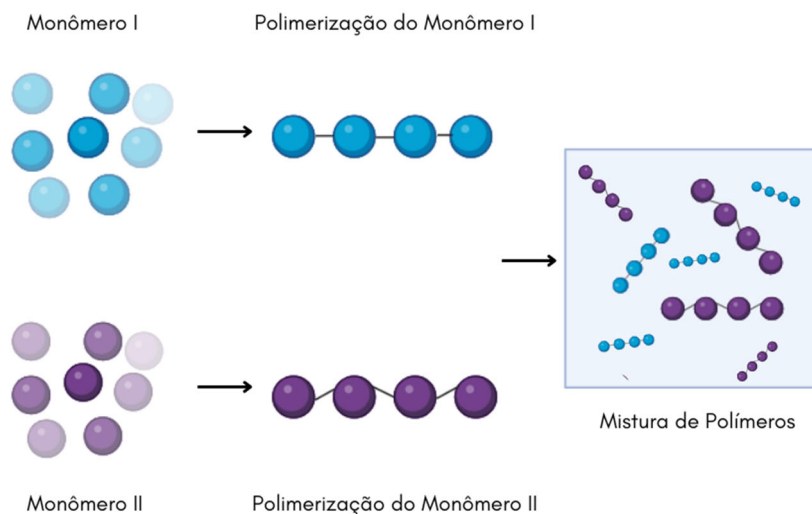
Fonte: Autor (2025).

3.1.2 Polivinilpirrolidona (PVP)

A polivinilpirrolidona (PVP) é um polímero derivado do monômero N-vinilpirrolidona, biodegradável e elevada hidrofiliidade. Essas características conferem ao PVP a capacidade de solubilidade em solventes com diferentes polaridades, boas propriedades de ligação e grande estabilidade para emulsões e suspensões [59]. Por ser biocompatível e atóxico é amplamente utilizado em aplicações farmacêuticas e biomédicas, sua aplicação se destaca na utilização de liberação controlada de fármacos, favorecendo a solubilização e a biodisponibilidade de princípios ativos pouco solúveis em água [60].

Devido ao fato de ser um polímero amorfo, não apresenta ponto de fusão nítido, possuindo a temperatura de transição vítrea (T_g) entre 150 °C, onde se torna maleável, e sofre degradação a 180 °C, dependendo do grau de polimerização e da sua composição [61].

Figura 6 – Formação de mistura mecânica (blenda).



Fonte: Autor (2025).

Para a elaboração de blendas complementares é necessário compensar as desvantagens intrínsecas de cada polímero, por exemplo, como na PCL, a hidrofobicidade desse material pode desfavorecer a aplicação na área biomédica. Contudo, pesquisadores têm superado essas limitações associando a PCL com o PVP, um polímero extremamente hidrofílico. Estudos mostram que essas estruturas associadas resultam em uma biocompatibilidade aprimorada, um padrão de biointeração seletivo e favorecem a adesão e proliferação celular [64-66].

De acordo com o estudo de Kim et al. [64], os solventes utilizados na preparação da mistura foram clorofórmio e metanol (4:1 em % de volume), em diferentes proporções e combinações de PVP e PCL, onde cada solução foi submetida a um processo de eletrospinning em condições otimizadas. Como resultado, fibras foram produzidas sem quaisquer esferas (*beads*) ao longo de sua extensão, o que significa que as fibras não apresentaram defeitos. Fibras de PCL fiadas separadamente obtiveram diâmetro médio de 1,20 μm , e ao adicionar PVP em até 40% de peso, ocorre aumento do diâmetro. Em relação a análises térmicas, a adição de PVP ao PCL, contribui para diminuição da temperatura de fusão (T_m) e aumento da temperatura de cristalização. Quanto ao ensaio mecânico, o aumento de PVP reduz a resistência mecânica das blendas.

Outras pesquisas [66-68] mostraram que essas estruturas, complementadas a determinados bioativos, ou fármacos podem apresentar propriedades antibacterianas contra bactérias Gram-positivas e Gram-negativas. Isso ocorre devido à considerável

porosidade e sua distribuição uniforme de poros, que confere à estrutura um veículo de administração de medicamentos, permitindo respirabilidade e taxa de liberação controlada.

3.2 BIOATIVOS

Devido à grande diversidade de flora disponível, a natureza fornece uma imensa quantidade de plantas e derivados com potenciais medicinais e farmacêuticos com comprovação científica de eficácia de funcionalidade. Os bioativos são compostos orgânicos provenientes de metabólitos secundários das plantas, que são produzidos a partir de produtos da fotossíntese que fornecem respostas ou estímulos ao ambiente [69, 70].

Esses compostos são essenciais à saúde humana devido aos seus múltiplos efeitos biológicos, como capacidade antioxidante, anticancerígenas, anti-inflamatórias e antimicrobianas, podendo atuar no tratamento e prevenção de diversas doenças. A identificação desses componentes é de grande relevância à saúde, sendo uma área de intensa investigação científica [71]. Além disso, é indispensável quantificar seus atributos, como método de concentração mínima (CIM), que aborda determinar a menor concentração de um composto ativo necessária para prevenir, por exemplo, o crescimento de bactérias [72].

Entre os bioativos mais conhecidos estão os fenóis, grupo quimicamente heterogêneo, com grande diversidade e que desempenham uma variedade de funções vegetais. Flavonoides, taninos e ligninas são subclasse dos compostos fenólicos e servem como defesa contra herbívoros e patógenos, sendo o primeiro importante atrativo para polinizadores e dispersores de sementes [73]. Esses compostos exercem ações fisiológicas relacionadas a prevenção de doenças cardiovasculares, inflamações crônicas, câncer e elevada capacidade antioxidante [74]. A diversidade da própolis brasileira e a cúrcuma são exemplos de fontes ricas nesses compostos bioativos, com destacadas propriedades terapêuticas e medicinais.

3.2.1 Própolis Vermelha

A própolis vermelha é uma substância produzida por abelhas, principalmente da espécie *Apis mellifera*, a partir da resina coletada majoritariamente da planta *Dalbergia*

ecastaphyllum, popularmente conhecida como rabo-de-bugio. Essa planta é encontrada predominantemente em manguezais da região Nordeste do Brasil, especialmente em Alagoas. Embora outras espécies vegetais possam contribuir com a composição da própolis vermelha, *D. ecastaphyllum* é reconhecida como sua principal fonte botânica. Este tipo de própolis distingue-se por sua coloração avermelhada (Figura 7), além da vasta quantidade de compostos fenólicos, principalmente flavonoides [75, 76]. De forma ampla, a própolis é composta basicamente por cerca de 50% de resinas vegetais, 30% de cera de abelha, 10% de óleos essenciais, 5% de pólen e 5% de detritos de madeira e terra [77, 78].

Figura 7 – Abelhas produzindo a própolis vermelha.



Fonte: Revista A Lavoura (2016).

Conhecida por suas propriedades terapêuticas, a própolis vermelha se destaca por sua atividade antimicrobiana e antifúngica. Estudos demonstram ação eficaz contra fungos, bactérias Gram-negativas e Gram-positivas, sendo a última apresentando eficiência absoluta [79]. A eficiência antibacteriana da própolis vermelha pode estar relacionada à elevada concentração de compostos fenólicos, especialmente flavonoides, cuja abundância contribui para intensificar sua atividade antimicrobiana [80]. Outra propriedade relacionada a abundância desses bioativos é a capacidade antioxidante, atuando na eliminação de radicais livres durante o processo de oxidação, contribuindo na prevenção de doenças graves e crônicas [81, 82].

Pesquisas mostram que compostos isolados da própolis vermelha, como por exemplo a quercetina, podem prevenir o crescimento de células cancerígenas,

inibindo o crescimento de células de câncer de mama, ovário, cérebro, próstata e bexiga, levando 50% delas à morte em testes iniciais realizados por laboratório [83 – 85]. Além disso, estudos sugerem o seu potencial uso no tratamento de lesões cutâneas auxiliando na regeneração rápida e eficaz do tecido, contribuindo para aceleração da cicatrização e prevenção de infecções, o que é especialmente útil no tratamento de úlceras e queimaduras [86-88].

Em síntese, a própolis vermelha se destaca por sua grande quantidade de propriedades terapêuticas, sendo um importante bioproduto brasileiro, podendo ainda ser complementada e potencializada com outros ativos da flora brasileira.

3.2.2 *Curcuma longa* L.

A cúrcuma longa, nome científico de *Curcuma longa* Linn (*C. longa*) e popularmente conhecida como açafrão-da-terra, é amplamente cultivada na Ásia tropical, especialmente na Índia. O seu uso remonta a séculos, sendo amplamente reconhecido por suas propriedades terapêuticas e aplicações medicinais. O gênero *Cúrcuma* conta com 133 espécies, e a planta é originária da família das Zingiberáceas, do rizoma de uma planta perene (Figura 8) [89]. Entre seus constituintes químicos incluem óleo essencial, rico em sesquiterpenos oxigenados, e compostos curcuminóides, sendo a curcumina ($C_{21}H_{20}O_6$ - Figura 8) seu principal polifenol [90].

Figura 8 – Estrutura química da curcumina. *Curcuma longa*: rizoma e pó.



Fonte: Autor (2025).

Reconhecida por suas atividades medicinais, a cúrcuma possui atividade antimicrobiana, inibindo vírus, fungos e bactérias [91]. Estudos revelam que o óleo essencial, é eficaz na inibição do crescimento de bactérias Gram-negativas, como *Escherichia coli* e *S. choleraesuis* [92]. Quando comparado ao extrato etanólico e ao óleo essencial de *C. longa*, ambos são eficazes contra o crescimento de *Escherichia coli*, sendo o extrato etanólico mais eficaz no processo de inibição [93]. Os valores de inibição podem variar de acordo com a concentração de curcumina presente nos rizomas da planta, dependendo do ambiente e da forma que é extraída [94].

A sua capacidade antioxidante também se destaca dentro de suas propriedades, de forma a neutralizar radicais livres e assim protegendo os organismos contra danos oxidativos [95]. O extrato em pó em comparação ao extrato etanólico possui maior atividade antioxidante e maior teor de composto fenólicos, indicando o seu uso como antioxidante natural [96].

Com relação à sua atividade anti-inflamatória, a curcumina, composto fenólico presente na *C. longa*, pode reduzir os níveis de citocinas pró-inflamatórias (como IL-6 e TNF- α), modulando a inflamação e acelerando a reparação tecidual [97]. Dessa forma, contribui na velocidade do processo de cicatrização de feridas, sendo um promissor bioativo no tratamento de patologias inflamatórias, podendo ser considerada uma alternativa terapêutica [98].

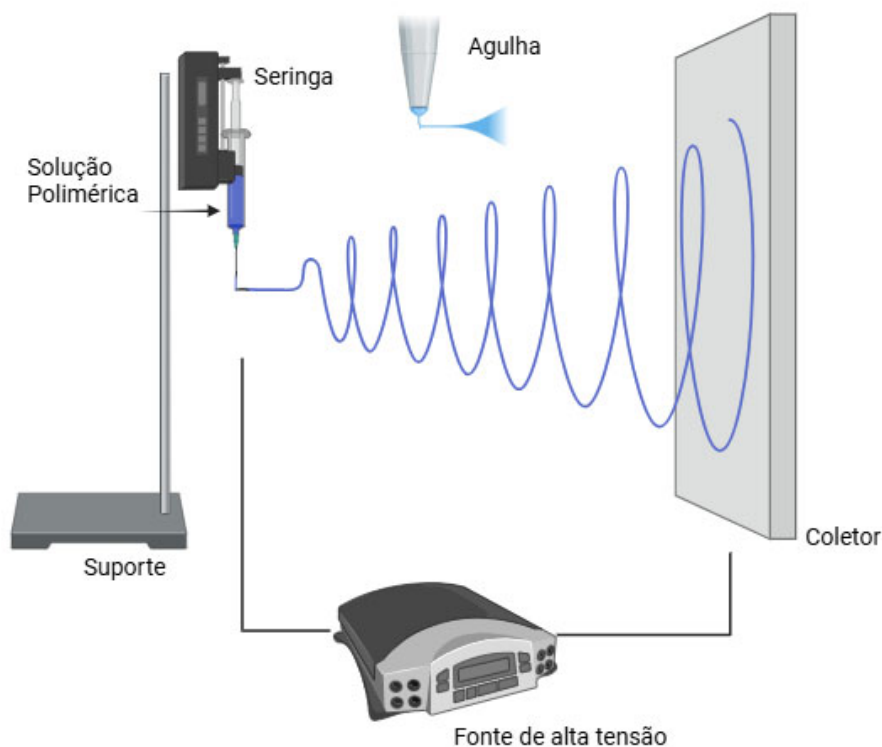
Entretanto, devido à natureza hidrofóbica e sua baixa biodisponibilidade por via oral, esses fatores inviabilizam seu uso, sendo um problema na administração intravenosa [95]. Uma abordagem para transformar essas limitações é utilizar alternativas que facilitem o modo de interação do fármaco com o organismo, como o auxílio de matrizes poliméricas, as quais podem contribuir para a polaridade do bioativo e sua forma de liberação. Nesse contexto, novos sistemas têm sido implementados no mercado clínico, como o processo de eletrofiação, que auxiliam na implementação de compostos em novas estruturas de administração.

3.3 ELETROFIAÇÃO

A técnica de eletrofiação possibilita a produção de fibras na escala nanométrica e micrométrica de diâmetro, com comprimento contínuo, composição variada e diversas

aplicações e propriedades controláveis. Essas fibras são formadas a partir de soluções poliméricas submetidas a um campo elétrico, em condições de temperatura e pressão ambiente. O sistema é composto por quatro componentes principais: fonte de alta tensão (kV), coletor aterrado (estático ou rotativo), agulha e bomba de seringa. Em configurações típicas o sistema é montado sobre configuração vertical ou horizontal, podendo dispensar o uso de uma bomba de seringa, utilizando apenas a gravidade como transporte da solução percussora, conforme ilustrado na Figura 9 [99, 100].

Figura 9 – Sistema esquemático de Eletrofiação.

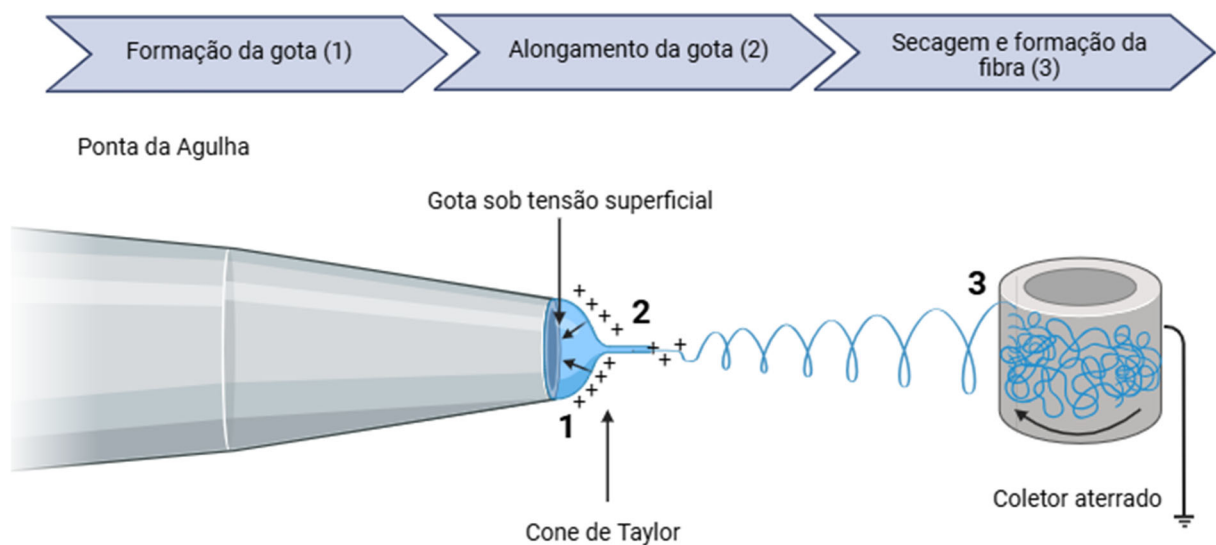


Fonte: Autor (2025).

O sistema é composto por três etapas: a primeira é formação da gota derivada da solução precursora, seu alongamento e, por fim, a formação e secagem das fibras. Inicialmente, ocorre a formação da gota polimérica na extremidade da agulha sob tensões superficiais. Quando uma voltagem elevada é aplicada, forças elétricas agem sobre a gota, puxando-a em direção ao coletor e, formando um campo elétrico entre

a agulha e o coletor. No início, a tensão superficial da gota resiste a essa força, no entanto à medida que a intensidade do campo elétrico aumenta, ela se torna forte o suficiente para superar a tensão superficial, formando um jato fino de solução no formato de um cone alongado, denominado Cone de Taylor, como ilustrado na Figura 10. Durante esse percurso, o solvente presente na solução evapora para o ambiente, depositando no coletor apenas fibras sólidas e secas [101 - 103].

Figura 10 – Etapas do processo de Eletrofiação e formação do Cone de Taylor.



Fonte: Autor (2025).

Alguns fatores podem influenciar diretamente a qualidade e as características das fibras e, neste sentido, na eletrofiação deve ser observado alguns parâmetros de processo. A tensão (voltagem) é um dos fatores mais importantes, quanto mais alta a voltagem, menor o diâmetro das fibras, o que pode aumentar diretamente a instabilidade do jato da solução [104]. A distância entre a agulha e o coletor pode influenciar a deposição das fibras, uma maior distância de trabalho garante um maior tempo para volatilização do solvente e estiragem das fibras, resultando em estruturas solidificadas sem formação de *beads* ou intersecções unidas [105].

Além desses parâmetros, outros como a taxa de alimentação, concentração (solvente/polímero) e composição da solução (massa molar) também podem exercer influência, variando conforme o material utilizado, e afetam significativamente as propriedades das fibras. Soluções mais viscosas exigem uma taxa maior de alimentação e voltagem, resultando em fibras mais grossas, sendo importante atentar-se à concentração e distância de trabalho [106].

Outros fatores que podem influenciar a obtenção das fibras estão relacionados as condições do ambiente, como temperatura, umidade e o tipo de coletor. A temperatura pode influenciar a viscosidade da solução e contribuir para evaporação do solvente, dessa forma maiores temperaturas favorecem a formação de fibras com menores diâmetros em função da diminuição da viscosidade. A umidade do ambiente também influencia a obtenção das fibras, quanto menor o valor, maior é a evaporação do solvente, resultando fibras com diâmetros menores [107]. E por fim, o coletor, embora não exerça influência significativa, o seu formato pode ser escolhido de acordo com a aplicação desejada [99].

A considerável versatilidade da técnica de eletrofiação permite a funcionalização de fibras através da mistura de polímeros ou até mesmo pela modificação de suas superfícies. No campo da engenharia de tecidos os materiais eletrofiados facilitam a aplicação na regeneração tecidos e sistemas, como a criação de arcabouços e *scaffolds*. Destacam-se na regeneração da pele, tanto pela sua semelhança estrutural, quanto pela possibilidade de desenvolvimento de sistemas carreadores de ativos, funcionando como um facilitador na regeneração [108].

3.3.1 Engenharia de tecidos

A engenharia de tecidos refere-se à prática de combinar células, biomateriais e fatores de crescimento que possam ser facilitadores na regeneração ou substituição de tecidos danificados [109]. Tradicionalmente descrita pela união desses três fatores, não exige necessariamente o uso em conjunto de todos eles. Pode-se, por exemplo, como arcabouços para suporte de células ou estruturas para liberação local e controlada de fármacos e outros compostos [108].

Seguindo essa abordagem, emergem os *scaffolds*, que são estruturas tridimensionais que desempenham um papel fundamental na formação de novos

tecidos, fornecendo suporte físico para crescimento e organização de células. No contexto do tratamento de feridas, desempenham o papel fundamental na regeneração do tecido lesionado, como a pele, promovendo a aceleração de cicatrização [110 – 112].

No contexto de curativos, algumas características do material são essenciais para estimular o processo de cicatrização: ele deve ser não alergênico, atóxico, capaz de aliviar a dor, apresentar alta porosidade para permitir trocas gasosas e entrada de nutrientes, além de oferecer proteção física e contra infecções. Além disso, o material empregado em sua estrutura deve possuir propriedades mecânicas adequadas que permitam sua manipulação, aplicação e remoção, degradação controlada e que estimule o crescimento tecidual [113].

Considerando à liberação controlada, os *scaffolds* podem ser projetados para carrear medicamentos que sejam liberados gradual e de forma controlada [114]. O controle da liberação do fármaco permite a atuação do ativo em concentrações reguladas que podem ser moduladas por estímulos internos do corpo, como alteração do pH, mudança de temperatura e até mesmo a presença de enzimas [113].

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS

Para desenvolvimento das mantas eletrofiadas foram utilizados os polímeros Policaprolactona (Sigma – Aldrich) de massa molar 80.000 g/mol em grãos e Polivinilpirrolidona (Sigma – Aldrich), massa molar 1.360.000 g/mol em pó. Para solução polimérica foi utilizado Clorofórmio P.A. e Álcool Metílico P.A. (ambos da Synth) como solventes.

A própolis vermelha bruta utilizada neste trabalho foi originária do estado de Alagoas, obtida no apiário de Paripueira, município da região metropolitana de Maceió, latitude sul: 9° 26,448' e latitude oeste: 35° 31.710', altura de 4,7 metros. Para obtenção do extrato concentrado utilizou-se Álcool Etílico de cereais 80%.

A *Curcuma longa* L. em pó (curcumina 96%) de peso molecular 368,383 g/mol foi adquirida comercialmente em Phormula Ativa.

Para a caracterização dos compostos bioativos, principalmente em relação a concentração de fenóis totais, utilizou-se o Ácido Gálico (Sigma - Aldrich), Folin-Ciocolteau (Sigma – Aldrich), Carbonato de Sódio (Êxodo Científica) e Água destilada.

Por fim, para a determinação de flavonoides, foram utilizados os reagentes Cloreto de Alumínio 99% (Sigma – Aldrich), Quercetina (Sigma – Aldrich) e o solvente Álcool Etílico Absoluto P.A. (Êxodo Científica).

Adicionalmente, para avaliar a capacidade antioxidante utilizou-se como solvente o Álcool Etílico Absoluto P.A. (Êxodo Científica) e o reagente 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (Sigma – Aldrich).

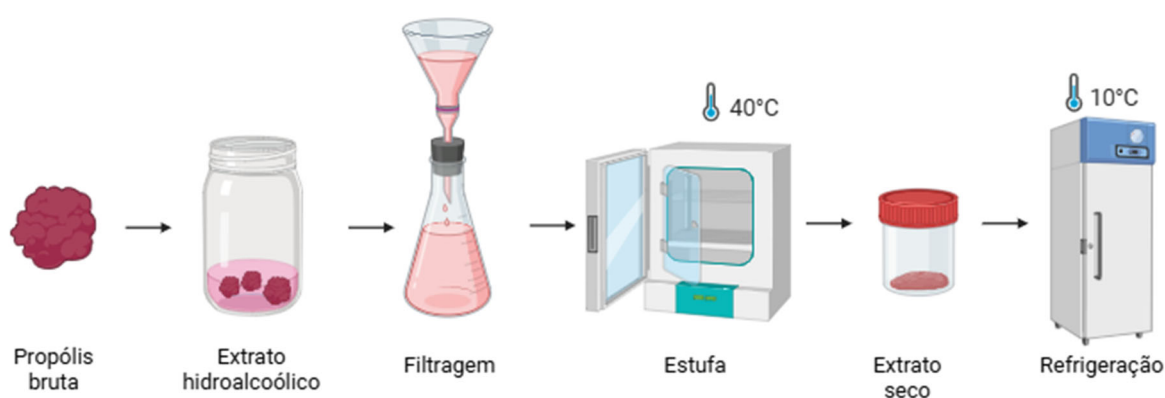
4.2 MÉTODOS

4.2.1 Processo de extração da própolis vermelha concentrada

Para o processo de extração por maceração, 30 g de própolis bruta foi moída manualmente e transferida para um frasco com 300 mL de etanol de cereais 80%. A solução foi submetida a agitação e mantida em repouso por 20 dias à temperatura ambiente.

Decorrido o tempo de repouso, o extrato hidroalcoólico obtido foi filtrado em papel filtro comum e levado para secagem em uma estufa Sterilifer a 40 °C. O resíduo coletado na filtragem foi submetido a mais um processo de extração, repetindo novamente o procedimento, resultando em duas extrações num período de 40 dias de processo. Ao final do processo, o extrato seco e pesado para obtenção do rendimento total da extração. O extrato foi armazenado em recipiente plástico com tampa e estocado em refrigeração a 10 °C, como mostrado na Figura 11 [115].

Figura 11 – Sistema esquemático para o processo de extração.



Fonte: Autor (2025).

4.2.2 Caracterização da *Curcuma longa* L. e propólis vermelha.

4.2.2.1 Fenóis Totais

I. Construção da curva de calibração

A quantificação do teor de fenóis totais presentes nos extratos secos foi determinada pelo método do Folin-Ciocalteu (FC), com modificações [116]. Para construção da curva analítica, foi preparada uma solução primária com 0,01 g de ácido gálico em balão volumétrico de 10 mL. A substância foi solubilizada e o volume completado com água destilada, obtendo a concentração final de 1000 µg/mL. A partir dessa solução primária, alíquotas 1 mL foram transferidas para outro balão volumétrico de 10 mL completando-se o volume com água para obtenção de uma solução estoque de ácido gálico com uma concentração de 100 µg/mL.

Com base dessa solução estoque, foram preparadas quatro concentrações com os valores de 2,5; 5,0; 7,5 e 10,0 µg/mL. Em cada balão volumétrico de 10 mL, adiciona-se a alíquota correspondente de ácido gálico, 250 µL de reagente de Folin-Ciocalteu e 6 mL de água destilada, sob agitação por 1 minuto. Em seguida, adiciona-se 1 mL de solução de carbonato de sódio a 20%, com agitação por 30 segundos. O volume final do balão foi completado com água destilada. A leitura em UV-Vis foi realizada a um comprimento de onda de 750 nm para a construção da curva de calibração do ácido gálico [116].

II. Teor de fenóis totais dos extratos

Para a preparação da solução estoque dos extratos, dissolve-se 0,1 g do extrato seco em etanol absoluto em um balão volumétrico de 10 mL. Em outro balão de 10 mL, adiciona-se uma alíquota de 50 µL da solução etanólica do extrato, seguida de 0,25 mL do reagente de Folin-Ciocalteu e 6 mL de água destilada, com agitação por 1 minuto. Após essa etapa, adiciona-se 1 mL de solução de carbonato de sódio a 20%, seguindo de uma nova agitação por 30 segundos. O volume final foi ajustado com água destilada. A leitura em UV-Vis foi efetuada a um comprimento de onda de 750 nm [116].

As determinações foram realizadas em função das concentrações de cada extrato utilizando a equação $y = ax + b$, onde y é a absorbância e x a concentração de ácido gálico da amostra. O teor de fenóis totais foi expresso em miligramas de equivalente de ácido gálico por grama de amostra (mg EAG/g) [117].

4.2.2.2 Teor de Flavonoides

I. Construção da curva de calibração

Para construção da curva analítica, preparou-se a solução padrão de quercetina (200 µg/mL) com 0,05 g de quercetina dissolvida em 50 mL de etanol, sob aquecimento brando e agitação. Após resfriamento, a solução foi transferida para um balão volumétrico de 250 mL, contendo 150 mL de álcool etílico absoluto e completado com etanol à temperatura de aproximadamente de 16 °C [118].

A solução de cloreto de alumínio (AlCl_3) a 5% foi preparada com 12,5g de AlCl_3 diluídos previamente em 200 mL de etanol absoluto. Em seguida, a solução foi transferida para um balão 250 mL, o qual o volume foi completado com etanol [118].

Para a construção da curva padrão, foram utilizados tubos de ensaio contendo 1 mL de solução de cloreto de alumínio a 5%, alíquotas de etanol absoluto e da solução padrão de quercetina, ajustando-se as concentrações para um volume final de 10 mL, conforme descrito na Tabela 1. Após 30 minutos do preparo das amostras, a leitura no espectrofotômetro foi realizada a 425 nm [118].

Tabela 1 – Curva padrão de flavonoides.

Amostras (volume final de 10 mL)	Etanol (mL)	Padrão de quercetina (mL)	Cloreto de alumínio 5% (mL)	Concentração final ($\mu\text{g/mL}$)
Branco	9,0	0,0	1	0
1	8,8	0,2	1	4
2	8,7	0,3	1	6
3	8,6	0,4	1	8
4	8,4	0,6	1	12
5	8,2	0,8	1	16
6	8,0	1,0	1	20

Fonte: Autor (2025).

II. Determinação de flavonoides

Para a determinação de flavonoides, preparou-se o extrato etanólico com 0,1 g de extrato seco em balão volumétrico de 10 mL, completado o volume com etanol absoluto. Alíquotas de 4 mL de cada extrato etanólico foram retiradas, as quais foram acrescidas de 6 mL de etanol e 1 mL da solução de cloreto de alumínio a 5%. A mistura foi agitada por alguns segundos. A leitura das soluções foi realizada em espectrofotômetro UV-Vis a 425 nm após 30 minutos de preparo das amostras [118].

As determinações foram feitas em função das concentrações de cada extrato utilizando a equação $y = ax + b$, onde y é a absorbância e x a concentração de quercetina da amostra. O teor de flavonoides totais foi expresso em miligramas de equivalente de quercetina por grama de amostra (mg QE/g) e em porcentagem (% m/m) [117].

4.2.2.3 Capacidade Antioxidante

A metodologia descrita constitui uma adaptação comum do método de redução do radical livre DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil) [114]. Inicialmente, prepara-se a solução de DPPH com concentração de 0,1 mM, pesando-se 0,0039 g de DPPH em um béquer. O composto é dissolvido em 3 mL de etanol absoluto e, em seguida, transferido para um balão volumétrico de 100 mL, onde o volume é completado com etanol absoluto.

Para preparar as soluções dos extratos de própolis e cúrcuma, pesa-se 0,1 g do extrato seco e dissolve-se em um balão volumétrico de 10 mL, completando o volume com etanol absoluto. A partir dessa solução estoque, retiram-se alíquotas de 5, 15, 30, 60, 180 e 400 µL, que são transferidas para seis balões volumétricos de 5 mL. Em cada balão, adicionam-se 2 mL da solução de DPPH e, em seguida, completa-se o volume com etanol absoluto, obtendo-se as concentrações de 1, 3, 6, 12, 36 e 80 µg/mL [119].

A leitura da absorbância foi realizada em um espectrofotômetro UV-Vis com comprimento de onda de 520 nm, no período de 30 minutos. O perfil da capacidade antioxidante pode ser calculado utilizando a Equação 1.

$$\% \text{ Atividade antioxidante} = 100 - \frac{((Ab \text{ amostra} - Ab \text{ branco}) \times 100)}{Ab \text{ controle}} \quad (1)$$

Onde: Ab amostra = absorbância da solução de DPPH com os extratos; Ab branco = absorbância da solução das amostras com extratos sem DPPH; Ab controle = absorbância da solução referência de DPPH com etanol.

4.2.2.4 Concentração inibitória mínima (CIM) e Concentração Bactericida Mínima (CBM)

A atividade antimicrobiana dos extratos de própolis vermelha e *Curcuma longa* L., bem como das mantas poliméricas contendo esses compostos, foi avaliada por meio de ensaios de sensibilidade a antimicrobianos. Esses ensaios foram conduzidos conforme as diretrizes estabelecidas pelo Clinical and Laboratory Standards Institute

(CLSI) [120], segundo o documento M07-A10 (2012) [121], o qual padroniza os métodos de diluição para determinação da concentração inibitória mínima (CIM) e a concentração bactericida mínima (CBM) em bactérias aeróbias.

Para os testes, foram utilizadas linhagens-padrão de referência do American Type Culture Collection (ATCC): *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923), *Staphylococcus epidermidis* (ATCC 12228), *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853) e *Klebsiella pneumoniae* (ATCC 700603). Essas cepas foram cultivadas e mantidas em condições apropriadas antes do uso nos ensaios.

O meio de cultura empregado foi caldo Mueller-Hinton, ajustado para pH 7,4, amplamente recomendado para testes de susceptibilidade antimicrobiana por apresentar composição estável e suporte adequado ao crescimento bacteriano. Os ensaios foram realizados em microplacas de 96 poços, apropriadas para análises em pequena escala e em paralelo.

Para a avaliação da atividade dos extratos (própolis vermelha e *Curcuma longa* L.), estes foram previamente solubilizados em DMSO (dimetilsulfóxido). As soluções obtidas foram então utilizadas na preparação de diluições seriadas, distribuídas nos poços das microplacas. O primeiro poço de cada linha recebeu 200 µL do extrato diluído no meio de cultura, e a seguir foram realizadas diluições seriadas sucessivas, transferindo-se 100 µL para o poço subsequente, adicionando-se em cada poço uma mistura de extrato e meio, até completar toda a linha.

No caso das mantas poliméricas com extratos incorporados, a liberação dos compostos bioativos foi realizada utilizando-se de 2,5 a 5 mg do material, submetido à agitação em shaker por 48 horas em 10 mL de solução salina tampão de fosfato (PBS). O eluato obtido após esse período foi utilizado nas microplacas e submetido à mesma metodologia de diluição seriada descrita para os extratos, com 200 µL no primeiro poço e subseqüentes diluições em série.

Cada poço da microplaca recebeu então 100 µL do inóculo bacteriano, previamente ajustado para a concentração de 5×10^5 unidades formadoras de colônia por mililitro (UFC/mL). Dessa forma, o volume total em cada poço foi padronizado em 200 µL após a adição do inóculo.

Dois controles foram estabelecidos para garantir a confiabilidade dos resultados:

- Controle positivo (crescimento bacteriano): 100 µL de meio de cultura + 100 µL do inóculo bacteriano.

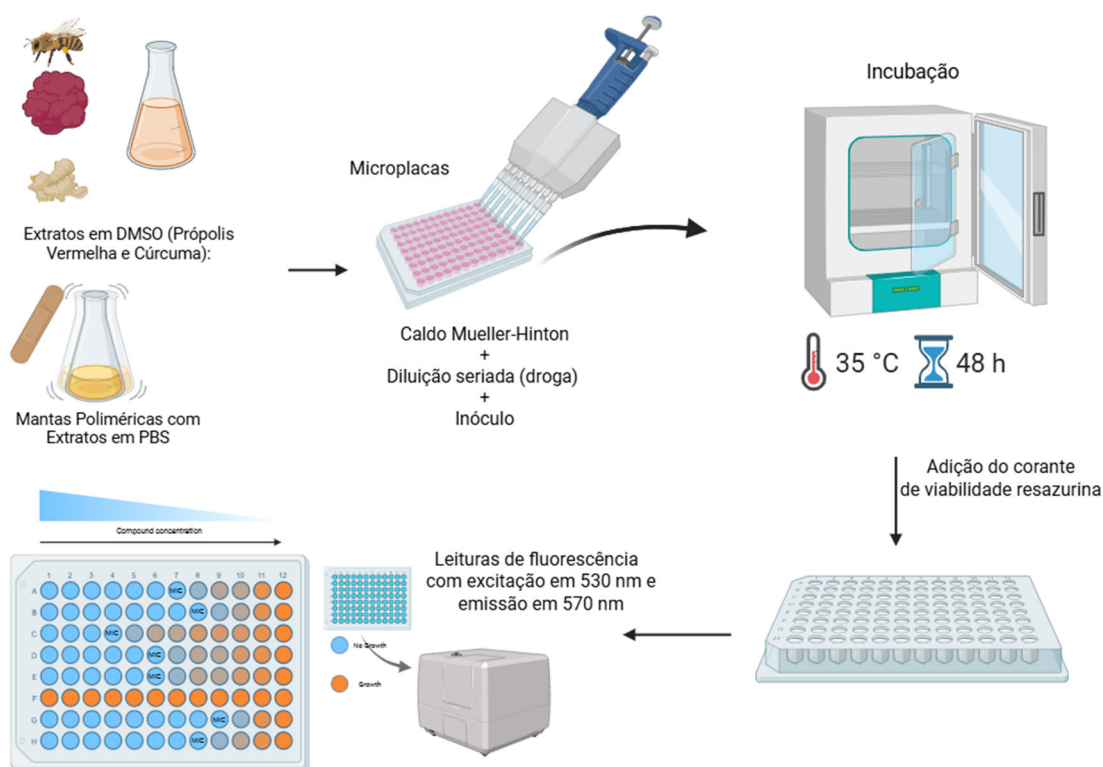
- Controle negativo (esterilidade do meio): apenas 200 μ L do meio de cultura, sem inóculo ou extrato.

Como controles antimicrobianos de referência, foram utilizados os fármacos vancomicina e imipenem, ambos reconhecidos por sua eficácia frente às cepas testadas e comumente empregados como padrão de comparação em ensaios microbiológicos.

As microplacas foram incubadas em estufa bacteriológica a 35 °C por um período de 48 horas. Após o tempo de incubação, foi adicionada resazurina, um corante indicativo de viabilidade celular que sofre redução em ambiente metabólico ativo, resultando em mudança de cor e emissão de fluorescência. As leituras de fluorescência foram realizadas com excitação em 530 nm e emissão em 570 nm, permitindo detectar a presença ou ausência de atividade metabólica microbiana considerando a inibição em 80%.

Todos os ensaios foram conduzidos em triplicata e de forma independente, garantindo a reprodutibilidade e a robustez estatística dos resultados.

Figura 12 – Procedimentos para a determinação da capacidade antibacteriana dos extratos e eluatos liberados pela manta.



Fonte: Autor (2025).

4.2.3 Formulação da blenda polimérica (PCL/PVP)

Para o preparo da matriz polimérica, utilizou-se uma massa de 1,5 g de PCL, variando a porcentagem de PVP em relação ao peso total. As concentrações de PVP foram ajustadas para 25%, 50% e 75% (m/m). Além disso, foram preparadas duas soluções controle, correspondentes a 100% PCL e 100% PVP, com o objetivo de compreender o comportamento individual de cada polímero. Os materiais foram dissolvidos em uma solução de clorofórmio e álcool metílico (4:1 v/v), em um volume total de 10 mL [64]. Cada mistura foi mantida sob agitação a 25 °C por 4 horas para garantir a completa homogeneização. A Tabela 2 apresenta a proporção em massa de cada solução polimérica com suas respectivas porcentagens.

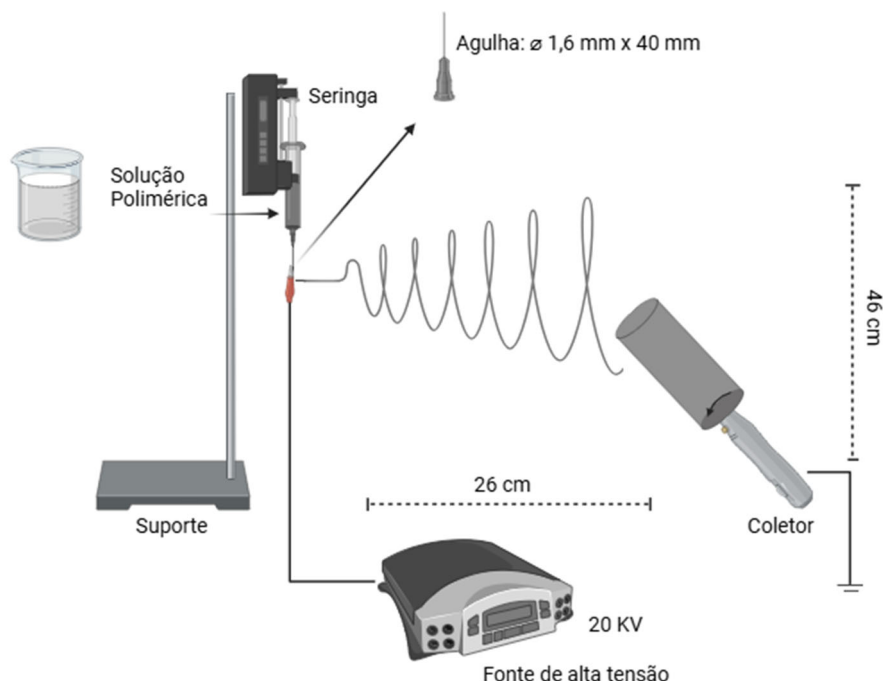
Tabela 2 – Variação da composição da matriz polimérica.

Amostra	Massa de PCL (g)	Massa de PVP (g)
100 % PCL	1,500	-
75% PCL e 25% PVP	1,125	0,375
50 % PCL e 50% PVP	0,750	0,750
25% PCL e 75% PVP	0,375	1,125
100% PVP	-	1,500

Fonte: Autor (2025).

Cada solução foi submetida ao processo de eletrofiação (Figura 13), mantendo-se todos os parâmetros constantes para cada concentração. A solução polimérica foi inserida em uma seringa de vidro contendo uma agulha metálica com ponta chanfrada e 1,6 mm de diâmetro e 40 mm de comprimento. O cabo conector proveniente da fonte foi conectado a ponta da agulha fornecendo uma tensão de 20 KV. A distância de trabalho entre a ponta da agulha e coletor rotativo foi de 26 cm, enquanto a distância vertical entre ponta da agulha e base estrutural foi de 46 cm. A taxa de fluxo seguiu a força gravitacional, sem a necessidade de bomba injetora. Uma folha de papel alumínio foi utilizada para revestir o coletor e facilitar a coleta das nanofibras.

Figura 13 – Modelo esquemático adotado no processo de eletrofiação.



Fonte: Autor (2025).

Com o objetivo de aumentar a incorporação de PVP (garantido maior hidrofilicidade da manta) e otimizar a estrutura fibrilar para a incorporação de bioativos, foram analisados o diâmetro médio das fibras, a formação de defeitos conhecidos como “*beads*” e a quantidade de interconexões entre as fibras. A composição contendo 25% de PCL e 75% de PVP apresentou os menores valores nesses parâmetros em comparação às demais formulações, sendo selecionada para a incorporação dos bioativos.

4.2.3.1 Incorporação da própolis vermelha na matriz polimérica

Após definir a matriz composta por 25% de PCL e 75% (m/m) de PVP, iniciou-se a incorporação dos bioativos. A própolis foi escolhida como o primeiro bioativo devido à sua natureza resinosa, que poderia influenciar a formação das fibras. O objetivo desse processo foi incorporar a maior quantidade possível de própolis sem comprometer a integridade da matriz ou interferir na técnica de eletrofiação.

As amostras de própolis vermelha foram preparadas com diferentes concentrações de extrato seco, variando entre 5%, 10%, 15% e 20% em relação ao

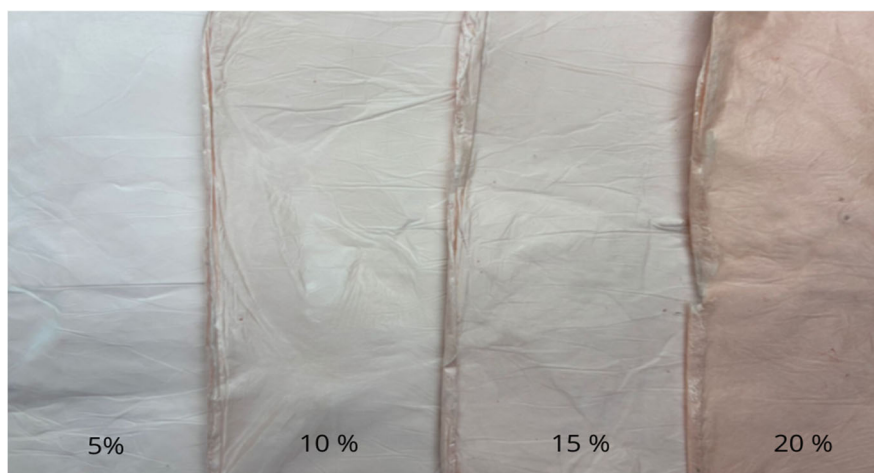
peso total da blenda (1,5 g). Conforme a metodologia previamente descrita, cada solução foi formulada com a respectiva proporção de própolis vermelha, conforme apresentado na Tabela 3 e ilustrado na Figura 14.

Tabela 3 – Variação do Extrato de própolis vermelha na composição da matriz polimérica.

Amostra (% própolis)	Extrato de Própolis vermelha (g)	PCL (g)	PVP (g)
5	0,075	0,375	1,125
10	0,150	0,375	1,125
15	0,225	0,375	1,125
20	0,300	0,375	1,125

Fonte: Autor (2025).

Figura 14 – Mantas eletrofiadas contendo variações de 5, 10 ,15 e 20% do extrato de própolis vermelha.



Fonte: Autor (2025).

A partir de uma concentração superior a 15% de própolis vermelha, observou-se um aumento do tempo de eletrofiação, atribuído à maior viscosidade da solução polimérica. Isso resultou no aumento do diâmetro das fibras e na formação de alguns defeitos na superfície da manta. Dessa forma, a concentração de 15% de própolis revelou-se a mais adequada, permitindo a maximização das propriedades bioativas e mecânicas sem comprometer a estrutura da manta.

4.2.3.2 Incorporação da *Curcuma longa* L. na matriz polimérica

Seguindo a mesma metodologia previamente mencionada, a incorporação da cúrcuma foi realizada a partir de concentrações menores, em razão de sua potencialização em quantidades reduzidas. Esse comportamento está associado às suas propriedades bioativas, que podem influenciar tanto na formação das fibras quanto na estabilidade da matriz polimérica. Assim, foram testadas concentrações progressivas com o objetivo de determinar a quantidade ideal, assegurando a uniformidade da manta sem comprometer sua estrutura.

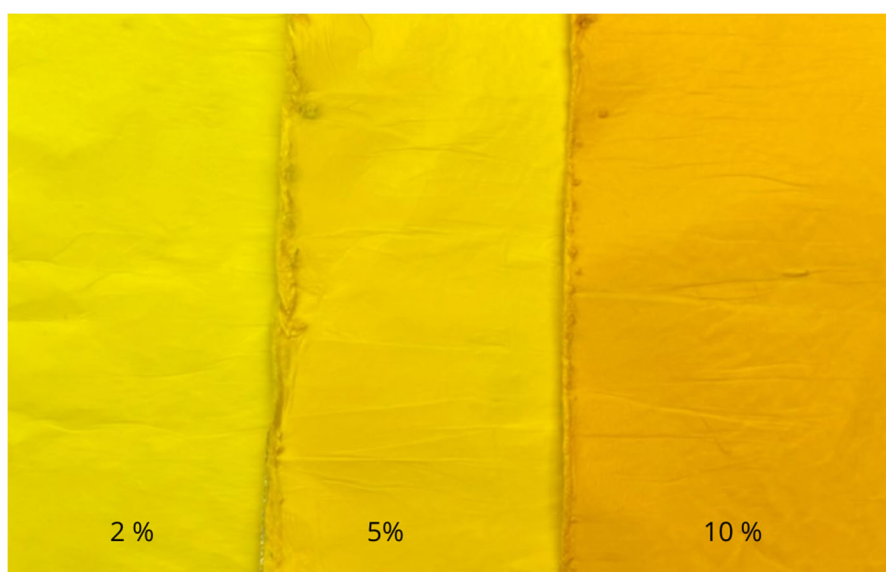
As amostras de *Curcuma longa* L. foram preparadas com diferentes concentrações de extrato seco, variando entre 2%, 5% e 10% em relação ao peso total da blenda (1,5 g). Cada solução foi formulada de acordo com a proporção de cúrcuma, conforme apresentado na Tabela 4 e ilustrado na Figura 15.

Tabela 4 – Variação de *Curcuma longa* L. na composição da matriz polimérica.

Amostra (% <i>C. longa</i>)	<i>C. longa</i> (g)	PCL (g)	PVP (g)
2	0,03	0,375	1,125
5	0,075	0,375	1,125
10	0,150	0,375	1,125

Fonte: Autor (2025).

Figura 15 – Mantas eletrofiadas contendo variações de *Curcuma longa* L.



Fonte: Autor (2025).

A partir de concentrações acima de 2%, observa-se a saturação do bioativo na estrutura polimérica, tornando dispensáveis concentrações mais elevadas. Assim, a concentração de 2% mostrou-se a mais adequada, garantindo a incorporação eficiente da cúrcuma sem comprometer a integridade estrutural da manta.

4.2.3.3 Incorporação da própolis vermelha e *Curcuma longa* L. na matriz polimérica

Para a etapa final de incorporação dos bioativos, as quantidades previamente selecionadas foram adicionadas à solução polimérica e submetidas ao processo de eletrofição. A composição polimérica foi mantida em 25% de PCL e 75% de PVP, com uma massa total de 1,5 g, acrescida de 15% de própolis vermelha e 2% de *Curcuma longa*. Os parâmetros do processo de eletrofição permaneceram inalterados. As proporções encontram-se apresentadas na Tabela 5, e o resultado final é ilustrado na Figura 16.

Tabela 5 – Composição polimérica e proporção de bioativos incorporados.

Matriz Polimérica		Bioativos	
PCL	PVP	Própolis vermelha	<i>Curcuma longa</i>
0,375 g	1,125 g	0,225 g	0,03 g

Fonte: Autor (2025).

Figura 16 – Manta eletrofiada de PCL/PVP com Própolis vermelha e *Curcuma longa* L.



Fonte: Autor (2025).

4.2.4 Caracterização das mantas eletrofiadas

4.2.4.1 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Para caracterização morfológica das mantas eletrofiadas, amostras de nanofibras, com dimensões de 1 x 1 cm foram coletadas e submetidas a um revestimento com uma fina camada de ouro por pulverização catódica metalizadora. As imagens foram adquiridas utilizando um microscópio eletrônico de varredura (MEV) modelo Zeiss EVO LS15, operando em modo de alto vácuo, disponível no laboratório de Microscopia de Ilha Solteira (LaMIS), no departamento de Física e Química da Unesp - FEIS [122].

O diâmetro médio das nanofibras foi determinado a partir da análise das imagens coletadas, utilizando o software *ImageJ*. Para essa análise, foram selecionadas aleatoriamente 100 fibras de cada amostra, cujos diâmetros foram selecionados e medidos aleatoriamente. Os dados coletados foram tabulados no software Microsoft Excel para análise estatística, incluindo o cálculo da média e do desvio padrão. A distribuição dos diâmetros foi representada graficamente com auxílio do software Origin 2024 [123].

4.2.4.2 Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

Os espectros de absorção na região do infravermelho, na faixa de 4000 a 600 cm^{-1} , foram adquiridos utilizando um espectrofotômetro FTIR modelo Nexus, 670, Nicolet, operando no modo ATR, com 64 varreduras e resolução de 4 cm^{-1} . Os extratos da própolis vermelha e *Curcuma longa* foram analisados por meio da preparação de pastilha de KBr. Disponível no laboratório multiusuário do departamento de Física e Química da Unesp – FEIS.

4.2.4.3 Análise termogravimétrica (TGA)

As propriedades térmicas das mantas eletrofiadas foram determinadas por meio de curvas termogravimétricas obtidas em equipamento da TA Instruments, modelo

SDT Q600 Disponível no laboratório de análises térmicas do departamento de Física e Química da Unesp – FEIS. Para essa análise, utilizou-se aproximadamente 10 mg de amostra, acondicionada em cadinho de alumina, e submetida a uma taxa de aquecimento de 10 °C/min, na faixa de temperaturas entre 25 °C e 1000 °C, sob atmosfera de nitrogênio com vazão de 50 mL/min.

4.2.4.4 Ensaios mecânicos

Os ensaios de tração das mantas eletrofiadas, tanto na ausência de bioativos quanto com incorporação de própolis vermelha e *Curcuma longa*, foram realizados conforme a norma ASTM 882-10 [124], utilizando a máquina de ensaio universal Instron, modelo 3369, equipada com uma célula de carga de 50 N, disponível no laboratório de Polímeros III, do departamento de Física e Química da Unesp – FEIS. Para os testes foram empregados 5 corpos de prova com dimensões de 5 mm de largura, 22 mm de altura e 0,25 mm de espessura. A taxa de deslocamento aplicada foi de 50 mm/min.

4.2.4.5 Molhabilidade

A molhabilidade do material foi determinada por meio da medição do ângulo de contato de uma gota sobre a superfície das mantas, utilizando a técnica de gota séssil [125]. Uma gota de água deionizada de 5 µL, à temperatura ambiente (aproximadamente 25°C), foi depositada sobre a superfície de cada manta. Durante 5 segundos, observou-se o comportamento da gota com o auxílio do tensiômetro óptico da Biolin Scientific modelo Theta Lite. Os resultados foram analisados conforme o método descrito por [126], que classifica a hidrofiliicidade do material de acordo com o ângulo de contato entre a gota e a superfície analisada. Materiais com ângulo de contato inferior a 5° em 0,5 segundos são classificados como super-hidrofílicos; ângulos menores que 90° são considerados hidrofílicos; entre 90° e 150°, hidrofóbicos; e materiais com ângulos entre 150° e 180° são classificados como super-hidrofóbicos [126].

4.2.4.6 Teste de liberação de fenóis

Inicialmente, foi construída uma curva padrão para ácido gálico em concentrações de 2,5; 5,0; 7,5 e 10,0 µg/mL, conforme o método de Folin-Ciocalteu [116]. Para o teste de liberação, o ensaio seguiu a metodologia descrita em [127], com modificações.

A liberação do conteúdo fenólico total das mantas eletrofiadas contendo bioativos foi avaliada em diferentes intervalos de tempo, utilizando água destilada como meio simulante. Para esse procedimento, 60 mg da manta foram imersos em 25 mL de água destilada. As soluções foram cuidadosamente agitadas e mantidas em repouso pelos seguintes períodos: 0,5 h, 1 h, 4 h, 8 h, 12 h, 24 h e 48 h. Ao final de cada intervalo, a fase sólida foi separada da fase líquida para análise da liberação dos compostos fenólicos [127].

O conteúdo fenólico total liberado foi determinado pelo método Folin-Ciocalteu [116]. Para a análise, 0,1 mL da solução da amostra foi misturada com 0,1 mL de água destilada e 0,2 mL de reagente Folin-Ciocalteu e deixado para reagir a 30°C por 5 minutos em ambiente escuro. Em seguida, 1 mL de solução de carbonato de sódio a 20% foi adicionado, e a mistura foi deixada em repouso à temperatura ambiente por 2 horas. Por fim, a absorbância da mistura de reação foi medida a 750 nm em UV-Vis [127].

As determinações foram realizadas com base nas concentrações de liberação utilizando a equação $y = ax + b$, onde y é a absorbância e x a concentração de ácido gálico da amostra. O teor de fenóis totais foi expresso em microgramas por mililitro (µg/mL).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 EXTRAÇÃO DA PRÓPOLIS VERMELHA

5.1.1 Extração e rendimento da própolis vermelha

O processo de extração da própolis vermelha foi realizado por maceração ao longo de 40 dias, ocorrendo duas extrações, partindo de 30 g de própolis vermelha bruta. Os rendimentos obtidos são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Rendimento do processo de extração da própolis vermelha.

Extração	Rendimento em peso de extrato seco (g)	Rendimento do extrato em %
1ª	16,37	54,57
2ª	1,31	4,36
Total	17,68	58,93

Fonte: Autor (2025).

É importante destacar que diversos métodos de extração podem ser aplicados para a extração da própolis, sendo a extração por infusão utilizando etanol como solvente a mais empregada [128]. Conforme Pontes et al. [129], considerando a variabilidade dos extratos de própolis, os solventes empregados podem desempenhar um papel importante no controle de qualidade, contribuindo para a obtenção de uma melhor atividade biológica.

De acordo com Trusheva [130], os rendimentos de extração da própolis variaram entre 53 e 58% utilizando a técnica de maceração. Esses valores indicam uma boa eficiência do processo, sendo alcançados em termos de porcentagem de rendimento.

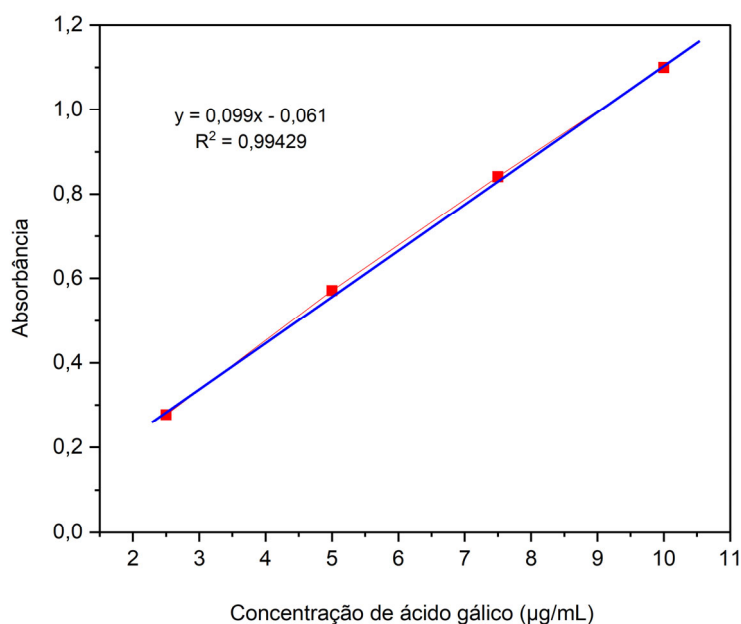
5.2 CARACTERIZAÇÃO DA *Curcuma longa* L. E PRÓPOLIS VERMELHA

5.2.1 Fenóis totais

Na análise do teor de compostos fenólicos totais dos bioativos, utilizou-se o método de Folin-Ciocalteu, fundamentado em uma reação de oxidação-redução. Os compostos fenólicos presentes na amostra atuam como agentes redutores promovendo a redução dos ácidos fosfomolibdico e fosfotúngstico do reagente, formando um complexo de coloração azul [131].

Para a quantificação, foi construída uma curva de calibração (Figura 17) com soluções padrão de ácido gálico em diferentes concentrações. A equação da curva e o valor do coeficiente de determinação (R^2) foram, respectivamente, $y = 0,099x + 0,061$ e $R^2 = 0,99429$.

Figura 17 – Curva de calibração do ácido gálico para determinação de fenóis totais e ajuste.



Fonte: Autor (2025).

Com base nos valores de absorbância medidos das amostras a 750 nm e utilizando a equação da reta obtida a partir da curva de calibração do ácido gálico, determinaram-se os teores de fenóis totais, apresentados na Tabela 7 e expressos em miligramas de equivalente de ácido gálico por grama de amostra (mg EAG/g).

Tabela 7 – Teor de fenóis totais.

Extrato	Teor de fenóis totais (mg EAG/g)
Própolis vermelha	231,3
Curcuma longa L.	42,4

Fonte: Autor (2025).

A própolis vermelha apresentou um teor de fenóis totais (231,3 mg EAG/g) significativamente superior ao da cúrcuma (42,4 mg EAG/g). Esse resultado sugere que a própolis pode ter uma maior capacidade antioxidante, uma vez que os fenóis totais estão diretamente relacionados à atividade antioxidante. De acordo com a literatura, a presença de diversos compostos, como flavonas, isoflavonas, flavanonas, antocianinas, catequinas e isocatequinas, contribui para a capacidade da própolis de neutralizar radicais livres e prevenir a oxidação de substratos lipídicos, justificando seu alto teor de fenóis totais [132].

Na literatura, diversos estudos relatam valores de compostos fenólicos semelhantes ao encontrado, sendo 257,98 mg EAG/g o maior valor registrado para uma amostra de própolis brasileira e 232 mg EAG/g especificamente para própolis vermelha, a qual possui maior quantidade de compostos fenólicos [133, 134]. Esses resultados demonstram a eficiência do método de extração utilizado, bem como a viabilidade da técnica de caracterização empregada.

Alguns fatores podem influenciar o teor fenólico, como a origem geográfica da própolis, o método de extração e as condições ambientais, o que evidencia a diversidade e a adaptabilidade desse produto natural [132]. Além disso, a alta concentração de fenóis na própolis vermelha pode justificar seu uso tradicional como agente antimicrobiano e antioxidante [135].

A *Curcuma longa*, embora apresente um teor menor de fenóis totais, é amplamente conhecida por seus compostos bioativos, como a curcumina, um polifenol que podem atuar de maneira diferente dos fenóis da própolis. Enquanto os compostos fenólicos da própolis vermelha desempenham um papel crucial na neutralização de radicais livres e na proteção contra a oxidação lipídica, a curcumina age modulando vias inflamatórias e antioxidantes específicas no organismo [133, 136]. A própolis vermelha e a *Curcuma longa* atuam de duas formas complementares: neutralizam diretamente os radicais livres e modulam vias celulares relacionadas ao estresse

oxidativo e à inflamação. Essa dupla ação torna a associação entre elas especialmente promissora para estratégias terapêuticas voltadas ao controle de processos oxidativos e inflamatórios.

De acordo com alguns estudos são encontrados valores de fenóis totais para algumas partes da planta: 32,88 mg EAG/g para o rizoma e 41,73 mg EAG/g para casca [137]. Outras pesquisas demonstram 200,99 mg EAG/g para o extrato e 26,37 mg EAG/g para o pó seco [138]. O valor encontrado para a amostra analisada, de 42,4 mg EAG/g, é compatível com os dados da literatura, especificamente para a casca, indicando uma concentração significativa de compostos fenólicos.

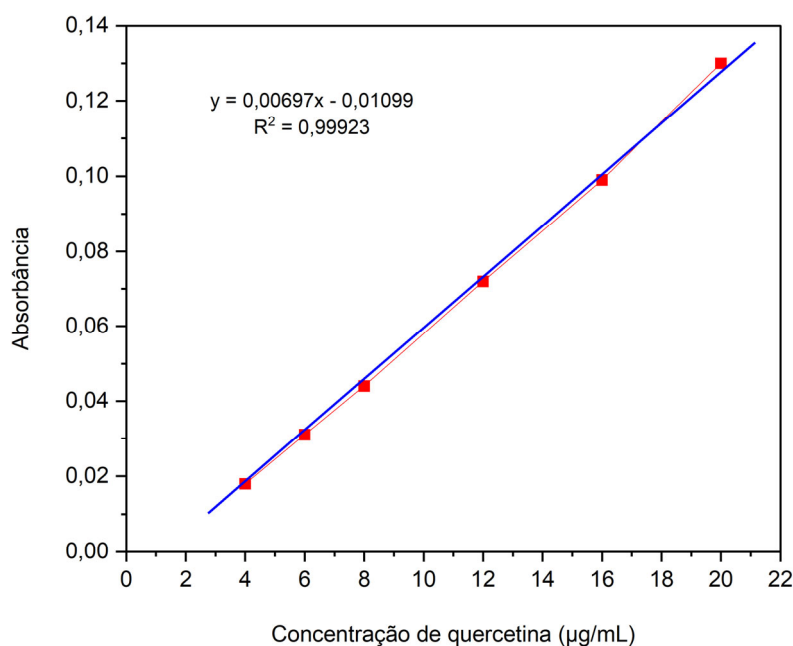
Apesar das diferenças nos teores de fenóis totais entre a curcumina e os compostos fenólicos da própolis vermelha, suas vias de ação são distintas, atuando por mecanismos diferentes que independem unicamente da concentração desses compostos. Isso sugere que, quando administrados conjuntamente, tais compostos podem exercer efeitos complementares, potencializando suas propriedades antioxidantes e terapêuticas.

5.2.2 Teor de flavonoides

Na determinação de flavonoides presentes na própolis vermelha e *Curcuma longa* utilizou-se a metodologia baseada no reagente cloreto de alumínio (AlCl_3). Neste método ocorre a formação de um complexo estável entre o íon de alumínio e as moléculas de flavonoides. Este complexo apresenta cor amarela com uma absorbância específica, cuja intensidade é diretamente proporcional a concentração de flavonoides na amostra [139].

Para quantificação do teor de flavonoides foi construída uma curva de calibração (Figura 18) com soluções padrão de quercetina em diferentes concentrações. A equação da curva e o valor do coeficiente de determinação (R^2) foram, respectivamente, $y = 0,00697x - 0,01099$ e $R^2 = 0,99923$.

Figura 18 – Curva de calibração de quercetina para determinação de flavonoides e ajuste.



Fonte: Autor (2025).

A partir dos valores de absorbância medidos das amostras a 425 nm e utilizando a equação da reta obtida a partir da curva de calibração de quercetina, foram determinados os teores de flavonoides apresentados na Tabela 8, expressos em miligramas de equivalente de quercetina por grama de amostra (mg QE/g) e em porcentagem (% m/m).

Tabela 8 – Teor de flavonoides.

Extrato	Teor de flavonoides em mg QE/g	Teor de flavonoides %
Própolis vermelha	31,8	3,18
<i>Curcuma longa</i> L.	13,6	1,35

Fonte: Autor (2025).

Os resultados obtidos para o teor de flavonoides na própolis vermelha (31,8 mg QE/g) e na cúrcuma (13,6 mg QE/g) demonstram uma diferença significativa entre os dois bioativos. Essa diferença pode ser atribuída à composição química específica de cada material, bem como às suas origens botânicas, forma de cultivo e ao processo de extração das amostras [140, 141].

Esse resultado está em consonância com estudos anteriores que indicam que a própolis é uma rica fonte de flavonoides devido às substâncias bioativas provenientes das plantas de onde as abelhas coletam as resinas. Sua composição química varia conforme o pasto apícola, entendido como conjunto de plantas que favorece a coleta de pólen e néctar, refletindo diretamente nas concentrações de flavonoides [140,142, 143]. Já a *Curcuma longa*, apesar de ser amplamente conhecida por suas propriedades medicinais, tem como principais compostos bioativos os curcuminoides, enquanto os flavonoides estão presentes em menores quantidades [144 – 146].

Estudos prévios relatam que a própolis vermelha pode apresentar teores de flavonoides variando entre 1,87 a 43 mg QE/g para extratos hidroalcoólicos [147, 148]. Outra pesquisa indica 1,97 mg QE/g de flavonoides para borra da própolis vermelha e 28,3 mg QE/g para seu extrato [149]. Em relação a porcentagens (m/m) de flavonoides, encontram-se valores entre 2,83 a 7,05 % para extratos de própolis comerciais e 3,29 % para própolis vermelha [150, 149].

Referente a cúrcuma, valores entre 22,52 a 79,36 mg QE/g são encontrados para diversas espécies e 10,09 mg QE/g para cúrcuma orgânica comercial [151, 152]. Quanto à porcentagem de flavonoides sobre a massa de extrato, os valores identificados podem variar entre 0,29 a 9,66 %, essa variação está relacionada ao método de extração e o solvente empregado, mesmo se tratando da mesma espécie [153].

Os dados reportados estão em consonância com o presente estudo, reforçando a validade dos resultados obtidos, destacando a variabilidade inerente aos produtos naturais. Além disso, é importante salientar a classificação do teor de flavonoides na própolis conforme a Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária (EMBRAPA), que exige uma quantidade mínima de flavonoides para avaliação da qualidade, com no mínimo de 0,5% (m/m) [154]. O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) estabelece que o teor de flavonoides na própolis deve ser superior a 2%. Nesse contexto, a própolis vermelha apresentou um resultado de 3,18%, evidenciando seu elevado teor desse composto em relação à quantidade esperada [155].

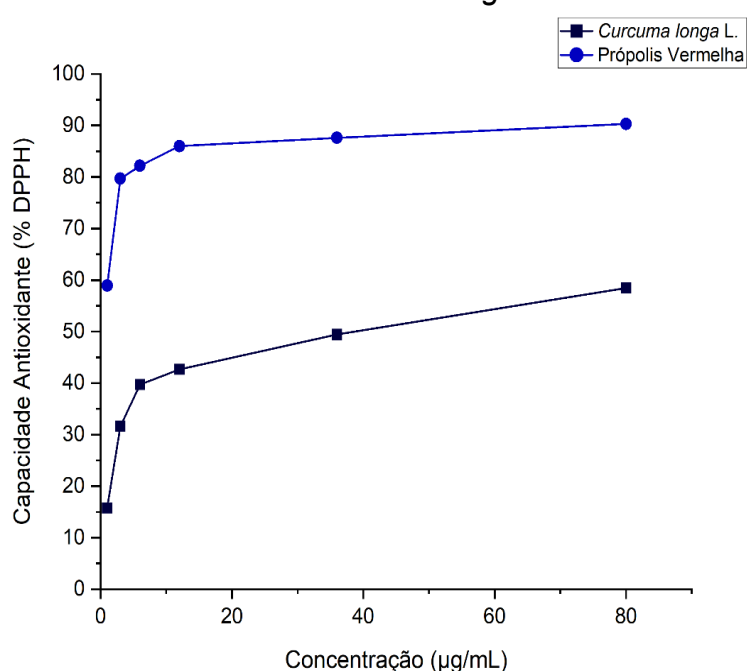
Os resultados deste estudo confirmam que a própolis vermelha é uma fonte mais rica de flavonoides em comparação à cúrcuma, o que pode influenciar sua aplicação como ingrediente bioativo favorecendo a atividade antioxidante.

5.2.3 Capacidade Antioxidante

O DPPH é um radical livre estável, ou seja, uma molécula com um elétron não emparelhado, o que a torna altamente reativa. Quando uma substância antioxidante entra em contato com o DPPH, ela cede um átomo de hidrogênio ou um elétron, neutralizando o radical livre. Como resultado, o DPPH perde sua coloração roxa e se torna mais claro ou até amarelado, dependendo da capacidade antioxidante do material. Com isso, é possível avaliar a atividade antioxidante de diferentes substâncias, uma vez que a intensidade da mudança de cor está diretamente relacionada à quantidade de radicais DPPH neutralizados [156].

Os resultados para análise da capacidade antioxidante dos extratos de própolis vermelha e *Curcuma longa*, realizados neste estudo, estão apresentados na Figura 19. Os testes foram conduzidos utilizando concentrações crescentes dos extratos, variando de 1 µg/mL a 80 µg/mL. Ao longo dessa faixa, a própolis vermelha demonstrou uma capacidade de inibição do radical livre DPPH que variou de 58,91% na menor concentração e 90,29% na maior concentração. Em comparação, o extrato de *C. longa* apresentou valores de inibição do radical livre DPPH que variaram de 15,80% a 58,46%, sob as mesmas condições experimentais no tempo de 30 minutos.

Figura 19 – Perfil da capacidade antioxidante dos extratos de própolis vermelha e *Curcuma longa* L.



Fonte: Autor (2025).

É possível observar uma relação diretamente proporcional entre o aumento da concentração dos extratos e a melhora da sua capacidade antioxidante na neutralização dos radicais livres de DPPH. Pesquisas revelam a capacidade antioxidante da própolis vermelha de Alagoas, com valores entre 81,82% a 89,59 %, nas concentrações de 20 e 40 µg/mL respectivamente [149]. Para própolis vermelha oriunda de outros lugares como Bahia, é encontrada a capacidade antioxidante de 88,91% do radical DPPH [157]. Para outros tipos de própolis, de diferentes regiões do Brasil, amostras brutas apresentaram a atividade antioxidante entre 51,33% a 90,35% [158]. A influência geográfica sobre as características da própolis elucida a grande variação de valores em relação a sua composição química [159].

De acordo com Tanvir, et. al [153], ao analisar a *Curcuma longa* na faixa de concentração entre 2,5 e 80 µg/mL, observa-se uma grande variação nos valores de capacidade antioxidante, o qual depende do solvente empregado e o local de cultivo. Os resultados variaram entre 47% e 62% de inibição do radical livre, com os extratos etanólicos apresentando as maiores porcentagens de inibição, enquanto os extratos aquosos mostraram valores mais baixos. Em outro estudo, foi observada uma porcentagem de inibição de 23,68%, considerada satisfatória, onde o autor sugere uma maior capacidade antioxidante associada ao tipo de solvente utilizado na extração [152].

A própolis vermelha demonstrou uma capacidade antioxidante superior a *Curcuma longa*, independente da concentração analisada. Essa diferença pode ser associada à composição química dos extratos, como a grande quantidade de compostos fenólicos, mencionados anteriormente, o que reflete diretamente nas propriedades antioxidantes da própolis. De fato, uma maior concentração desses bioativos sugere uma maior atividade antioxidante [160].

Contudo, apesar da cúrcuma apresentar menor capacidade antioxidante quando comparada a própolis vermelha, ainda demonstrou uma inibição considerável e dentro de valores conhecidos pela literatura. Os antioxidantes desempenham um papel importante no processo de cicatrização. Eles neutralizam os radicais livres, reduzindo o estresse oxidativo e, conseqüentemente, minimizando danos celulares. Essa ação pode contribuir para uma resposta inflamatória mais controlada, promovendo a regeneração tecidual e acelerando a cicatrização de feridas. Diversos estudos demonstram que a presença de antioxidantes, como os flavonoides encontrados em na própolis vermelha, está associada à melhoria na qualidade e velocidade da

cicatrização. Além disso, a combinação desses bioativos, ao se associarem, podem potencializar sua ação antioxidante. Estudos indicam que a interação entre diferentes compostos bioativos pode criar um efeito sinérgico, onde a combinação resulta em uma ação mais eficaz do que a simples soma dos efeitos individuais [161].

5.2.4 Concentração Inibitória Mínima (CIM) e Concentração Bactericida Mínima (CBM)

Nas tabelas 9 e 10 é possível visualizar os resultados do estudo da atividade bactericida dos extratos de própolis vermelha e *Curcuma longa* L. contra distintas cepas bacterianas, incluindo *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*), *Staphylococcus epidermidis* (*S. epidermidis*), *Pseudomonas aeruginosa* (*P. aeruginosa*) e *Klebsiella pneumoniae* (*K. pneumoniae*). A determinação da Concentração Inibitória Mínima (CIM) e da Concentração Bactericida Mínima (CBM) possibilitou identificar a eficácia dos extratos na inibição do crescimento e na eliminação das bactérias analisadas. Além dos extratos livres, a avaliação também foi realizada para as mantas poliméricas contendo própolis vermelha (15% m/m), *Curcuma longa* (2% m/m), e a manta combinada contendo ambos os extratos, própolis vermelha (15% m/m) e *Curcuma longa* L. (2% m/m).

Tabela 9 – CIM e CBM para os extratos de própolis vermelha e *Curcuma longa* L.

	Própolis vermelha		<i>Curcuma longa</i> L.		Própolis vermelha + <i>Curcuma longa</i> L.	
	CIM (µg/mL)	CBM (µg/mL)	CIM (µg/mL)	CBM (µg/mL)	CIM (µg/mL)	CBM (µg/mL)
<i>S.aureus</i> (Gram+)	31,3	> 125	15,6	> 125	62,5	> 125
<i>S.epidermidis</i> (Gram +)	125	> 125	15,6	> 125	31,6	> 125
<i>P.aeruginosa</i> (Gram -)	>125	> 125	> 125	> 125	> 125	> 125
<i>K.pneumoniae</i> (Gram -)	31,3	> 125	31,3	> 125	62,5	> 125

Fonte: Autor (2025).

Tabela 10 – CIM e CBM para mantas poliméricas de própolis vermelha e *Curcuma longa* L.

	Manta própolis vermelha (15%)		Manta <i>Curcuma longa</i> L. (2%)		Manta própolis vermelha (15%) + <i>Curcuma longa</i> L. (2%)	
	CIM (µg/mL)	CBM (µg/mL)	CIM (µg/mL)	CBM (µg/mL)	CIM (µg/mL)	CBM (µg/mL)
<i>S. aureus</i> (Gram+)	72	>72	7,6	> 7,6	12,6	>12,6
<i>S. epidermidis</i> (Gram +)	72	>72	7,6	> 7,6	12,6	>12,6
<i>P. aeruginosa</i> (Gram -)	72	>72	3,8	> 7,6	6,3	>12,6
<i>K. pneumoniae</i> (Gram -)	32,8	>72	7,6	> 7,6	12,6	>12,6

Fonte: Autor (2025).

Os valores para o extrato de própolis vermelha evidenciam uma atividade antimicrobiana variável, com eficácia distinta entre as diferentes cepas bacterianas testadas. As bactérias *Staphylococcus aureus* e *Klebsiella pneumoniae*, classificadas, respectivamente, como gram-positiva e gram-negativa, demonstram maior sensibilidade à própolis vermelha, apresentando uma CIM de 31,3 µg/mL. Por outro lado, para *Staphylococcus epidermidis*, uma bactéria gram-positiva, a CIM foi de 125 µg/mL, e para *Pseudomonas aeruginosa*, uma bactéria gram-negativa, a CIM superou os 125 µg/mL, indicando menor eficácia da própolis contra essas cepas. No que se refere à CBM, todos os valores obtidos foram superiores a 125 µg/mL, o que sugere que a ação da própolis é predominantemente bacteriostática, ou seja, inibidora do crescimento bacteriano, em vez de promover sua morte.

Quando incorporada na manta polimérica a 15%, a própolis vermelha manteve sua atividade frente a *K. pneumoniae* (CIM de 32,8 µg/mL) e apresentou uma melhora significativa contra *S. epidermidis* e *P. aeruginosa* (redução da CIM de 125 µg/mL para 72 µg/mL). Embora os valores de CIM para *S. aureus* tenham sido maiores na manta (72 µg/mL) em comparação ao extrato (31,3 µg/mL), ainda indicam ação antimicrobiana moderada. Esses dados sugerem que a incorporação da própolis vermelha na matriz polimérica favoreceu sua atividade antimicrobiana frente à maioria das cepas testadas, provavelmente devido à liberação controlada e sustentada dos

compostos bioativos. Também se observou a redução nos valores de CBM para todas as cepas quando incorporada na membrana eletrofiada, indicando uma melhora na capacidade bactericida do sistema polimérico contendo própolis vermelha em comparação ao extrato. Isto pode ser devido a barreira protetora que os polímeros oferecem aos compostos bioativos (tanto da cúrcuma quanto da própolis) sendo estes os compostos principais para a atividade antimicrobiana.

A *Curcuma longa* L. apresentou uma atividade antimicrobiana variável em função das diferentes cepas bacterianas testadas. A CIM observada foi de 15,6 µg/mL para *Staphylococcus aureus* e *Staphylococcus epidermidis*, indicando maior sensibilidade dessas bactérias a *Curcuma longa*. No caso da bactéria *Klebsiella pneumoniae*, o valor de CIM observado foi de 31,3 µg/mL, indicando uma resposta moderada à *Curcuma longa*. Por outro lado, para a bactéria *Pseudomonas aeruginosa*, os valores de CIM foram superiores a 125 µg/mL, apontando que esta bactéria possui uma resistência maior à ação desse ativo. Para CBM, todos os valores foram acima de 125 µg/mL, demonstrando uma ação predominantemente bacteriostática.

A manta contendo *Curcuma longa* L. a 2% evidenciou atividade antimicrobiana significativamente superior à do extrato, especialmente ao se considerar os valores de CIM. Frente a *S. aureus*, a manta exibiu uma CIM de 7,6 µg/mL, enquanto o extrato apresentou valor de 15,6 µg/mL, sinalizando uma duplicação da eficácia inibitória quanto ao composto que foi incorporado à matriz polimérica. Resultado semelhante é observado contra *S. epidermidis*, em que a manta também apresentou CIM de 7,6 µg/mL, metade da registrada para o extrato.

A ação foi ainda mais expressiva frente à *P. aeruginosa*, microrganismo notoriamente resistente, para o qual o extrato demonstrou atividade antimicrobiana com CIM de >125 µg/mL, enquanto a manta inibiu seu crescimento com uma concentração muito inferior de 3,8 µg/mL. Já contra *K. pneumoniae*, a manta apresentou CIM de 7,6 µg/mL, em contraste com os 31,3 µg/mL observados para o extrato. Contudo, observou-se uma redução significativa nos valores de CBM, que passaram de >125 µg/mL no extrato para 12,6 µg/mL na manta, o que indica não apenas uma ação inibitória mais eficaz, mas também um ganho expressivo na atividade bactericida.

A associação dos extratos de *Curcuma longa* L. e própolis vermelha apresentou comportamentos distintos nas formas livre e incorporada à manta polimérica. Quando utilizados na forma livre, os dados demonstram que a combinação dos extratos não

resultou em um efeito sinérgico evidente. Em algumas cepas, como *S. aureus* e *K. pneumoniae*, a CIM observada para a associação foi superior à dos extratos isolados (variação de 62,5 para 31,3 µg/mL em ambas), sugerindo uma possível interferência negativa entre os compostos bioativos quando aplicados simultaneamente, o que pode ter reduzido a eficácia individual, especialmente da *Curcuma longa* L.

Por outro lado, quando incorporados à matriz polimérica, os extratos demonstraram um perfil de atividade antimicrobiana diferente. A manta contendo ambos os extratos (própolis 15% + *Curcuma longa* L. 2%) apresentou redução nas CIMs em comparação à manta com própolis isoladamente para todas as cepas testadas. Esse efeito foi mais perceptível frente às bactérias Gram-negativas, como *P. aeruginosa* (de 72 para 6,3 µg/mL) e *K. pneumoniae*, (de 62,5 para 12,6 µg/mL), sugerindo que a liberação controlada e sustentada proporcionada pela matriz polimérica favoreceu a ação combinada dos compostos. Embora os valores de CIM da manta associada tenham sido levemente superiores aos da manta com *Curcuma longa* L. isolada, ainda assim representaram uma melhora em relação ao uso exclusivo da própolis, indicando uma ação complementar entre os extratos no contexto da liberação a partir da manta. A CBM da manta contendo ambos os extratos comparados aos extratos isolados combinados apresentaram uma redução expressiva de >126 µg/mL para 12,6 µg/mL.

Investigações acerca dos mecanismos de ação da própolis indica supostamente que sua atividade antimicrobiana pode estar associada à sua capacidade de afetar a permeabilidade das membranas celulares dos microrganismos [162]. De acordo com Bankova et al. [163] e Marcucci et al. [164], a eficácia da própolis contra as bactérias Gram-positivas é atribuída à elevada concentração de fenóis (flavonoides, ácidos fenólicos e ésteres) e terpenóides presentes em seu extrato. Esses compostos conseguem permear a estrutura das paredes celulares desses patógenos devido a maioria dos fenóis possuírem propriedade anfifílica [131].

A atividade antimicrobiana da própolis vermelha relaciona-se a sua capacidade de formar complexos com proteínas extracelulares e solúveis, além de se ligar diretamente às paredes celulares das bactérias, causando alterações nas membranas celulares dos microrganismos. As bactérias Gram-negativas possuem uma membrana externa (OM), que atua como uma barreira seletiva, reduzindo a permeabilidade à diversas substâncias antimicrobianas, incluindo compostos fenólicos, o que contribui para a resistência desses microrganismos [165 - 167].

Embora os estudos detalhados sobre interação com membranas celulares tenham sido realizados com compostos específicos da própolis verde, como o Artepillin C (que possui alta anfifilicidade), evidências sugerem que os compostos fenólicos majoritários da própolis vermelha, como isoflavonoides e outros flavonoides prenilados, atuam de forma semelhante, promovendo alterações na estrutura e função das membranas de microrganismos [168 - 170]. Esses compostos possuem alta afinidade por regiões lipídicas devido à sua hidrofobicidade e capacidade de interagir com fosfolipídios de membrana, o que pode levar à desorganização do empacotamento lipídico, aumento da permeabilidade da membrana e consequente perda de integridade celular. Ademais, como observado com outros ácidos fenólicos, a atividade é potencializada em ambientes de pH reduzido, comuns em tecidos inflamados ou infectados, favorecendo a penetração dos compostos bioativos. Dessa forma, o mecanismo de ação da própolis vermelha está diretamente relacionado à sua capacidade de desestabilizar membranas celulares, interferindo no transporte de íons e nutrientes essenciais à sobrevivência bacteriana, e levando à morte celular por lise ou por disfunção metabólica [168, 171 - 173].

De modo análogo à própolis, a *Curcuma longa* L. apontou uma pequena tendência à capacidade de inibição de bactérias Gram-positivas, conforme evidenciado por estudos disponíveis em revistas científicas especializadas [174 - 176]. Esses resultados estão diretamente associados às diferenças na estrutura celular desses microrganismos. Bactérias Gram-positivas possuem uma camada espessa de peptidoglicano (uma substância que forma a parede celular), além de ácidos lipoteicoicos (LTA), que desempenham um papel fundamental na interação com a curcumina, principal composto bioativo da *Curcuma longa* L. Além disso, a ausência de uma membrana externa facilita a penetração da curcumina no interior celular dessas bactérias. Por outro lado, as bactérias Gram-negativas apresentam uma camada de peptidoglicano mais fina e uma membrana externa, que atua como uma barreira protetora, dificultando a entrada de substâncias como a curcumina, de maneira semelhante ao que ocorre com a própolis. Essa membrana confere uma maior resistência das bactérias Gram-negativas a muitos antibióticos, como β -lactâmicos, quinolonas e colistinas [177, 178].

A melhora da atividade antimicrobiana observada após a incorporação dos extratos de *Curcuma longa* L. e própolis vermelha na matriz polimérica pode ser atribuída a diversos fatores relacionados ao sistema de liberação controlada ou

encapsulamento. A incorporação dos extratos na matriz polimérica possibilita a encapsulação dos compostos bioativos, promovendo sua proteção contra degradação e permitindo uma liberação controlada e prolongada, o que potencializa sua atividade antimicrobiana [179]. Além disso, a incorporação protege os compostos fenólicos e curcuminóides da degradação oxidativa, fotolítica ou por pH, fatores que podem comprometer sua atividade na forma livre. A matriz também favorece a retenção local e a biodisponibilidade dos extratos, criando um microambiente mais propício à ação antimicrobiana, especialmente em aplicações tópicas [179]. Outro ponto importante é a possível melhora na interação entre os compostos ativos e as membranas bacterianas, promovida pela natureza química dos polímeros utilizados, como PCL e PVP, que podem modular a polaridade local e facilitar a penetração dos princípios ativos. Resultados semelhantes também foram observados com outros sistemas poliméricos, reforçando o potencial das matrizes como carreadores eficazes de agentes antimicrobianos [180, 181].

Esses mecanismos combinados explicam a significativa redução das CIM e, principalmente, das CBM nas mantas contendo a associação dos extratos, evidenciando que a forma de incorporação potencializa não apenas a inibição do crescimento bacteriano, mas também sua eliminação efetiva.

De forma geral, a própolis vermelha e a *Curcuma longa* L. apresentam maior eficácia contra as bactérias Gram-positivas, isso não implica ausência de eficácia contra bactérias Gram-negativas. Embora a resistência das bactérias Gram-negativas seja maior devido à presença de uma membrana externa que dificulta a entrada de substâncias antimicrobianas, os compostos ativos da *Curcuma longa* L. ainda demonstram efeitos inibitórios, principalmente no que diz respeito à ação bacteriostática. Ademais, a associação dos extratos, quando incorporada a mantas, evidencia um efeito complementar que supera os resultados observados na aplicação isolada dos extratos. Esses achados são promissores, especialmente considerando o potencial dessas substâncias em curativos, onde podem atuar no controle da proliferação bacteriana em feridas, contribuindo para a prevenção de infecções. Além disso, a ação sinérgica entre os diferentes compostos antimicrobianos presentes na própolis vermelha e na cúrcuma também pode ser explorada, ampliando seu espectro de eficácia e promovendo um efeito terapêutico mais abrangente no combate a microrganismos patogênicos.

5.3 CARACTERIZAÇÃO DAS MANTAS ELETROFIADAS

5.3.1 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

5.3.1.1 Blenda polimérica PCL/PVP

As Figuras de 20 a 24 apresentam a morfologia das mantas eletrofiadas de PCL, PVP e suas combinações na forma de blenda, acompanhadas com seus respectivos histogramas, permitindo a avaliação da uniformidade e distribuição das fibras. A Tabela 11 apresenta a média dos diâmetros das mantas, bem como o respectivo desvio padrão.

A análise da manta composta exclusivamente por PCL (Figura 20) revela uma morfologia contendo um entrelaçamento das fibras sem um padrão definido de alinhamento ou orientação, característica típica de um não tecido, nas quais as fibras se encontram de maneira aleatórias. Essa característica é observada em todas as outras amostras, conferindo-lhes um elevado nível de porosidade, que podem favorecer as trocas gasosas e permeabilidade do material [182].

A análise do histograma mostra que as fibras de PCL possuem um diâmetro médio de 1,65 μm acompanhado de um desvio padrão de 0,51 μm . Os valores obtidos indicam uma distribuição relativamente homogênea, embora com alguma dispersão em torno da média, evidenciando uma certa variabilidade no tamanho das fibras. Não foram observados a presença de defeitos, como esferas, fusões, quebras ou colapsos nas fibras.

Pelo histograma, se observa que a manta composta exclusivamente de PVP (Figura 21), possui um diâmetro médio de 1,55 μm com desvio padrão de 0,33 μm . Esse diâmetro é inferior ao das fibras de PCL, e a análise do desvio padrão indica uma distribuição relativamente uniforme em termos do tamanho dos diâmetros. Os resultados obtidos para fibras de PVP estão em conformidade com a literatura, embora mais finos em comparação a um estudo no qual os diâmetros médios obtidos variavam entre 2 e 10 μm , dependendo das condições experimentais [183]. Isso sugere que a variação das condições experimentais, como parâmetros de solução, processo e ambiente afetam diretamente o tamanho das fibras [184].

A partir da adição progressiva de PVP ao PCL, nas concentrações de 25%, 50% e 75% (Figuras 22, 23 e 24), os diâmetros das fibras obtidos foram de 1,73, 1,74 e

1,61 μm , respectivamente. Observa-se um aumento no diâmetro em comparação com as amostras de 100% PCL e 100% PVP, seguido por uma redução do tamanho do diâmetro das fibras em concentrações mais altas de PVP. Esse comportamento também foi observado em outro estudo, onde a adição progressiva de PVP ao PCL resultou inicialmente no aumento do diâmetro das fibras, seguido por uma redução em concentrações mais altas de PVP [64]. De acordo com Kim et al. [64], para concentrações de 20%, 40%, 50% e 60% de PVP em PCL os valores dos diâmetros foram 1,44, 1,88, 1,56 e 1,27 μm , respectivamente. A concordância entre resultados sugere que o PVP pode ter contribuído para a redução da viscosidade da solução ou aumentado sua condutividade elétrica, facilitando o estiramento do jato durante a eletrofiação. Com um jato mais estável e uma maior capacidade de se alongar antes de atingir o coletor, as fibras formadas apresentaram diâmetros menores. Esse comportamento indica que, em determinadas proporções, o PVP pode atuar como um modificador reológico e elétrico da solução, favorecendo a formação de fibras mais finas [185 – 187].

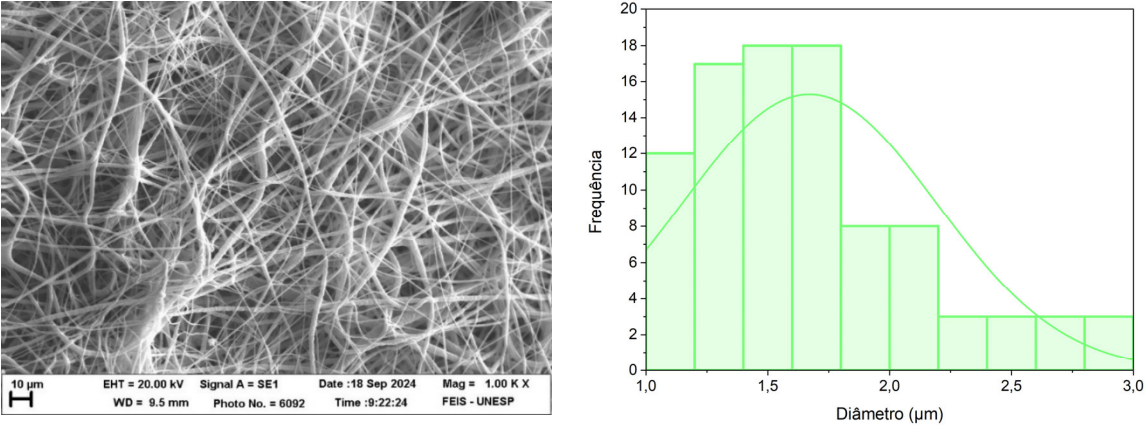
Uma outra possível justificativa está relacionada ao peso molecular de cada polímero. De acordo com Koski e colaboradores [188], a adição de um polímero com peso molecular significativamente inferior ao do polímero predominante pode reduzir consideravelmente as forças viscoelásticas da blenda. Portanto, à medida que a quantidade de PVP aumenta, este passa a ser o polímero predominante na mistura, e, devido ao seu peso molecular menor, exerce uma influência direta nas propriedades viscoelásticas da solução polimérica.

Observa-se também um aumento da uniformidade do diâmetro das fibras evidenciado pela diminuição do desvio padrão, conforme ilustrados na Tabela 11.

Tabela 11 – Diâmetro médio e desvio padrão das fibras compostas por PCL e PVP.

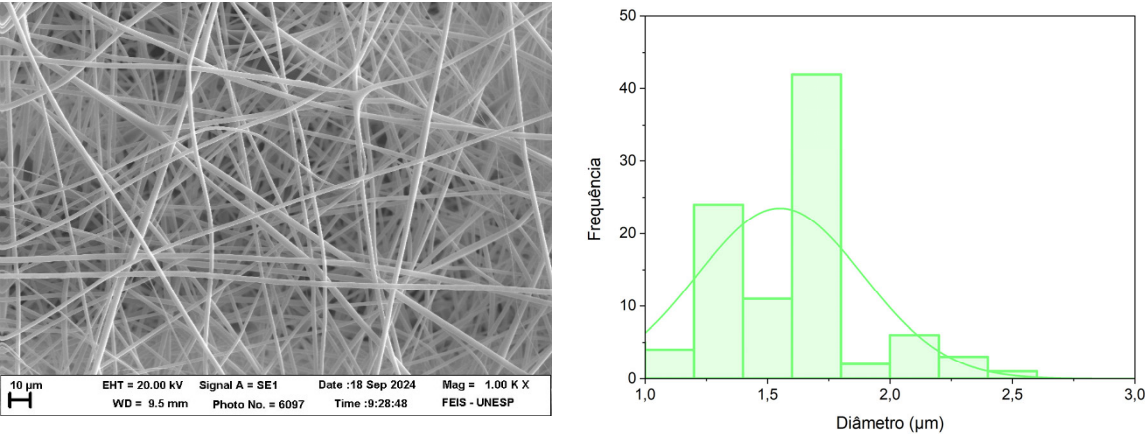
Amostra	Diâmetro médio (μm)	Desvio padrão (μm)
100 % PCL	1,65	0,51
75% PCL e 25% PVP	1,73	0,23
50 % PCL e 50% PVP	1,74	0,28
25% PCL e 75% PVP	1,61	0,18
100% PVP	1,55	0,33

Figura 20 – Imagem e diâmetro das fibras de puras PCL.



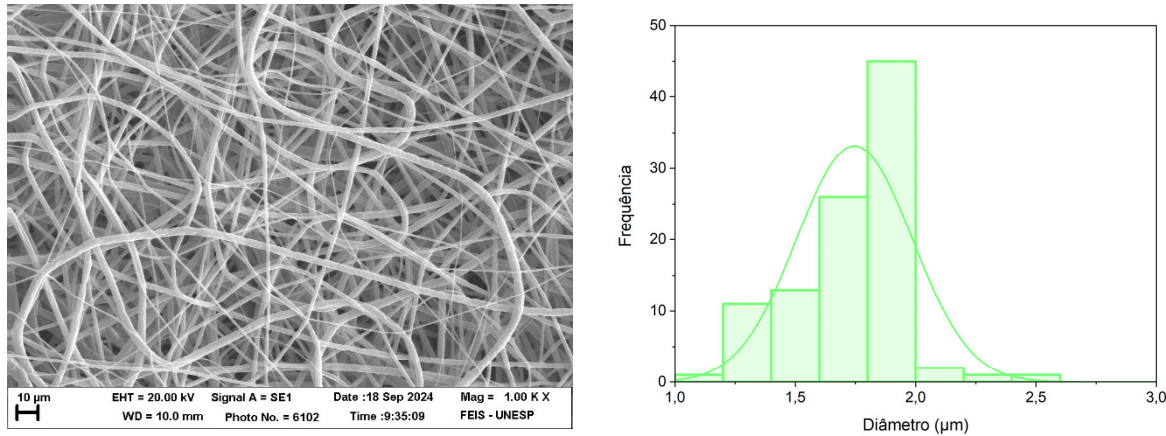
Fonte: Autor (2025).

Figura 21 – Imagem e diâmetro das fibras de puras PVP.



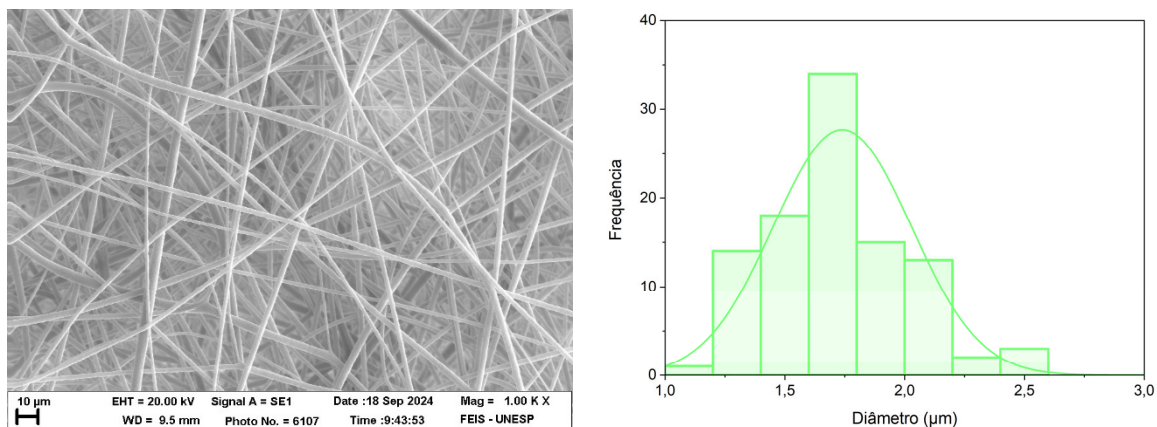
Fonte: Autor (2025).

Figura 22 - Imagem e diâmetro das fibras de 75% PCL 25% PVP.



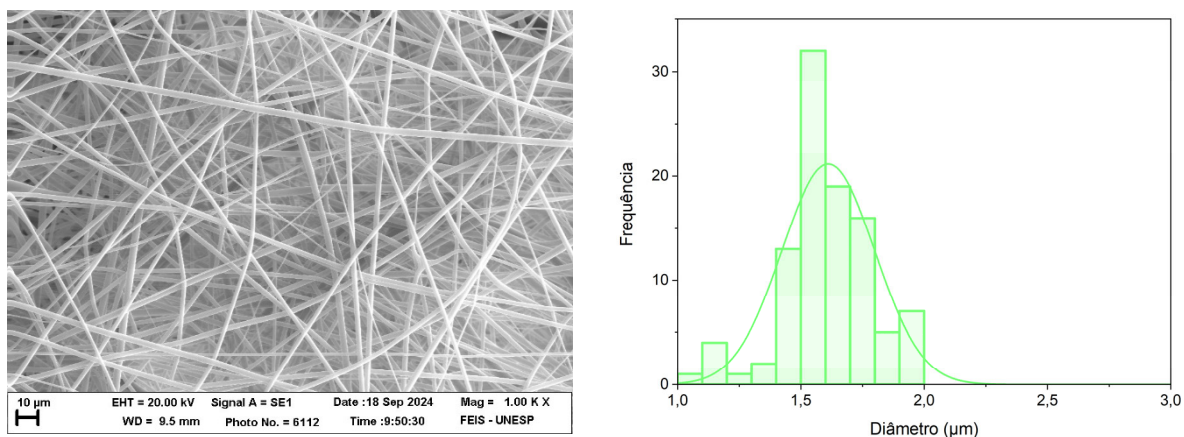
Fonte: Autor (2025).

Figura 23 – Imagem e diâmetro das fibras de 50% PCL 50% PVP.



Fonte: Autor (2025).

Figura 24 – Imagem e diâmetro das fibras de 25% PCL 75% PVP.



Fonte: Autor (2025).

Nas imagens, observa-se a ausência de defeitos do tipo *bead*, além do aumento da uniformidade e homogeneização das fibras à medida que a concentração de PVP é incrementada em cada amostra. Essa uniformidade pode ser atribuída à baixa viscosidade e a maior condutividade da solução de PVP.

Os resultados obtidos estão em conformidade com o objetivo do trabalho, que visa produzir fibras homogêneas de PCL/PVP. O aumento gradual da concentração de PVP contribui para a hidrofiliabilidade da manta, favorecendo um sistema de liberação controlada. Devido à solubilidade do PVP em água, é provável que ocorra uma interação de afinidade entre o polímero e o organismo humano, considerando que aproximadamente 80% do corpo é composto por água [189]. A presença de PCL na

formação da matriz polimérica é essencial para aprimorar propriedades mecânicas, como resistência, elasticidade e durabilidade, assegurando maior estabilidade estrutural e melhor desempenho em aplicações biomédicas.

5.3.1.2 Blenda de PCL/PVP incorporada com própolis vermelha

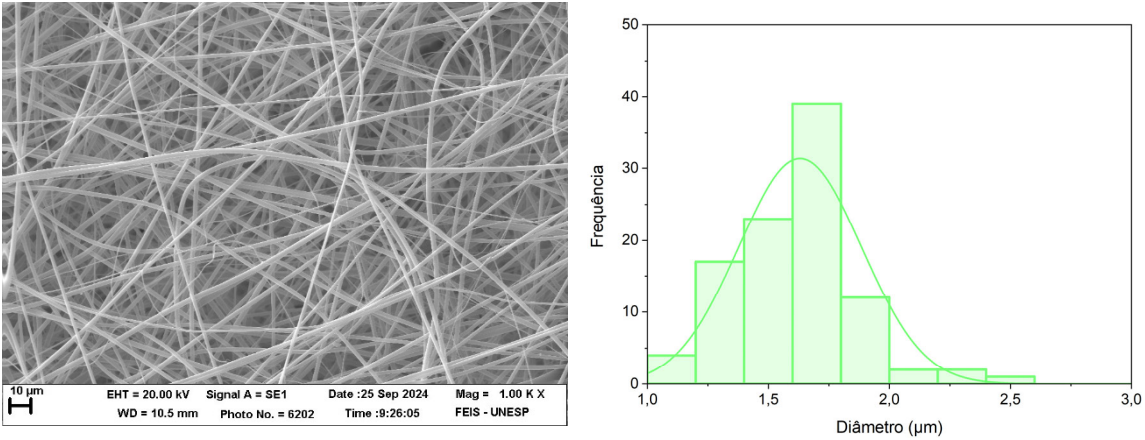
Em conformidade com a análise dos resultados apresentados no tópico anterior e ilustrados nas Figuras 20 a 24, a blenda composta por 25% de PCL e 75% de PVP foi a que melhor atendeu ao objetivo proposto, evidenciando a maior incorporação do PVP, uniformidade no diâmetro das fibras e ausência de defeitos. A partir dessa matriz, foram adicionadas concentrações de própolis vermelha em proporções de 5%, 10%, 15% e 25% em relação ao peso total dos polímeros.

A morfologia das mantas e a distribuição do diâmetro das fibras contendo 5%, 10%, 15% e 20% de própolis vermelha são apresentadas nas Figuras 25 a 28, respectivamente. As imagens revelam uma elevada uniformidade das fibras, com um arranjo consistente em todas as composições, sem a presença de defeitos e com superfícies lisas, desprovidas de rugosidades.

À medida que a quantidade de própolis incorporada aumenta, observa-se uma influência direta no diâmetro das fibras, ou seja, quanto maior a concentração do bioativo na fibra, maior é o seu diâmetro médio. Essa relação também foi evidenciada em outros estudos, como o de Siqueira et al. [190], no qual a adição de um material bioativo a um polímero resultou no aumento do diâmetro das fibras produzidas.

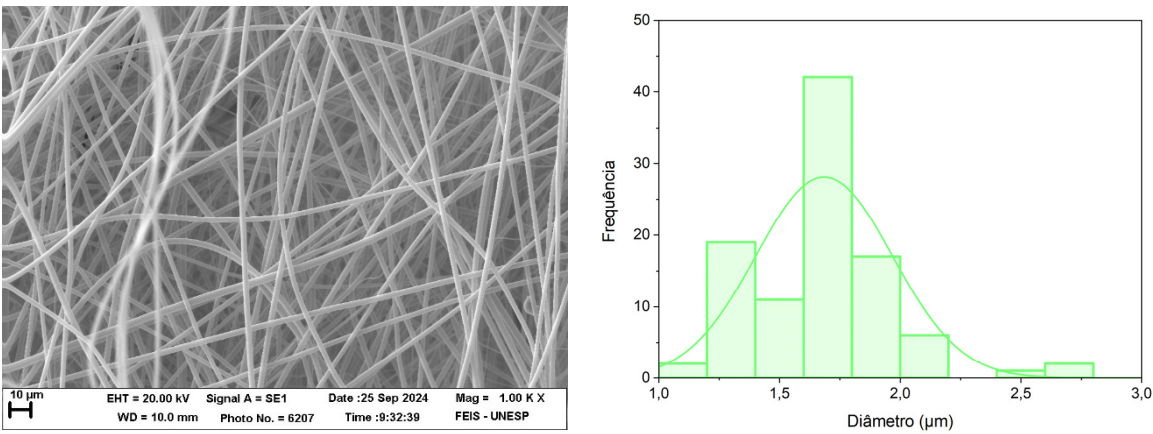
Esse fenômeno observado ocorre devido ao aumento da viscosidade da solução polimérica. Com o aumento da concentração de própolis, a solução torna-se mais viscosa. Soluções com baixa viscosidade tendem a formar fibras mais finas, enquanto soluções com maior viscosidade resultam em fibras mais espessas. Com o aumento contínuo da viscosidade da solução, o processo de estiramento do jato polimérico se torna mais difícil, uma vez que as moléculas da solução estão mais fortemente conectadas entre si, o que dificulta o movimento e a formação do material [191].

Figura 25 – Imagem e diâmetro das fibras de PCL/PVP com 5% de própolis vermelha.



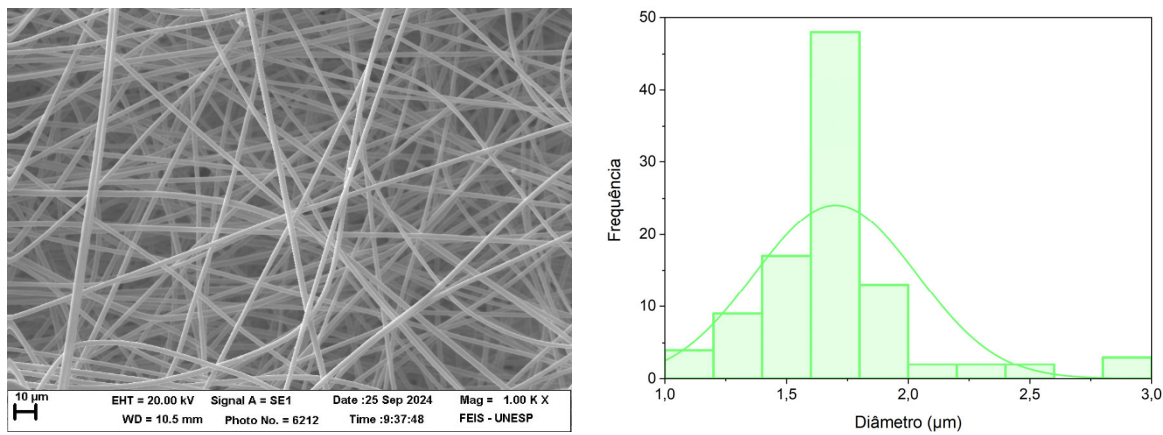
Fonte: Autor (2025).

Figura 26 – Imagem e diâmetro das fibras de PCL/PVP com 10% de própolis vermelha.



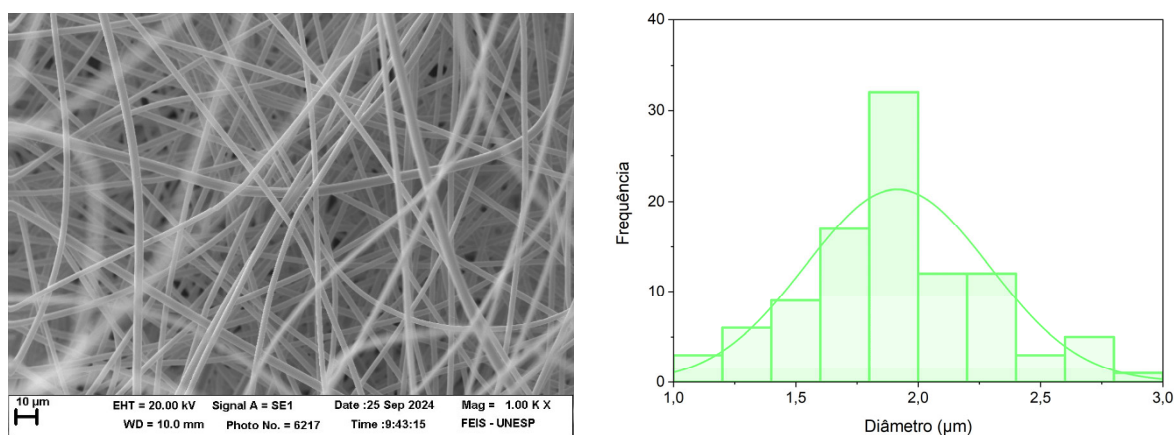
Fonte: Autor (2025).

Figura 27 – Imagem e diâmetro das fibras de PCL/PVP com 15% de própolis vermelha.



Fonte: Autor (2025).

Figura 28 – Imagem e diâmetro das fibras de PCL/PVP com 20% de própolis vermelha.



Fonte: Autor (2025).

Na Tabela 12, são apresentados os diâmetros médios e os desvios das fibras compostas com própolis vermelha.

Tabela 12 - Diâmetro médio e desvio padrão das blendas poliméricas variando a porcentagem de própolis vermelha.

Concentração de própolis vermelha	Diâmetro médio (µm)	Desvio padrão (µm)
5%	1,63	0,25
10%	1,68	0,28
15%	1,70	0,33
20%	1,91	0,37

Fonte: Autor (2025).

Apesar das pequenas variações observadas nos valores de desvio padrão, seu aumento acompanha o incremento no diâmetro das fibras, indicando uma maior variabilidade no tamanho das fibras produzidas. Esses resultados sugerem que a incorporação de determinados bioativos ou a modulação das propriedades da solução polimérica podem afetar o diâmetro das fibras produzidas. Portanto os resultados evidenciam a importância do controle da concentração e das características dos componentes para a obtenção das propriedades desejadas nas fibras.

Como um dos objetivos do estudo é maximizar a incorporação de bioativos sem alterar a estrutura fibrilar, a matriz contendo 15% de própolis vermelha foi escolhida por apresentar um valor médio de diâmetro das fibras que melhor se adequa à

proposta, equilibrando a incorporação do bioativo e a preservação das propriedades estruturais das fibras. A comparação entre as matrizes contendo 5% e 10% de própolis com a de 15%, observa-se que os diâmetros são semelhantes, embora as concentrações menores resultem em menor quantidade de própolis incorporada. Por outro lado, a concentração de 20% de própolis apresenta um diâmetro ligeiramente maior, apesar do desvio padrão evidenciar uma distribuição uniforme, o que pode impactar as características desejadas para o desempenho das fibras, possivelmente comprometendo a homogeneidade e as propriedades mecânicas.

5.3.1.3 Blenda de PCL/PVP incorporada com *Curcuma longa* L.

Em conformidade com os resultados previamente discutidos, a incorporação de bioativos foi realizada utilizando a blenda composta por 25% de PCL e 75% de PVP. Com base nessa formulação, diferentes proporções de *Curcuma longa* L. foram adicionadas, correspondendo a 2%, 5% e 10% da massa total dos polímeros. A escolha de concentrações reduzidas justifica-se pela elevada atividade biológica do bioativo.

As Figuras de 29 a 31 apresenta as diferentes variações de cúrcuma nas concentrações de 2%, 5% e 10% respectivamente. É possível observar nas micrografias um padrão consistente na deposição das fibras, sem defeitos ou fusões. Entretanto, observa-se que na concentração de 10% de cúrcuma, pequenas partículas encontram-se sobrepostas em algumas fibras, o que pode indicar uma possível interferência da elevada quantidade do bioativo incorporado, como ilustrado na Figura 31.

Os diâmetros médios das fibras com diferentes concentrações de *Curcuma longa* L. estão apresentados na Tabela 13. Observa-se, mais uma vez, uma relação direta entre o diâmetro das fibras e a quantidade de bioativo incorporado. À medida que a concentração de cúrcuma aumenta, o diâmetro também tende a aumentar, o que pode ser atribuído ao impacto da viscosidade da solução polimérica. Concentrações mais altas de cúrcuma aumentam a viscosidade da solução, dificultando o estiramento das fibras durante o processo de electrospinning e resultando em fibras de diâmetro maior [191]. Esse comportamento está em conformidade com o esperado, tornando-se evidente na concentração de 10%, na qual foi obtido o maior diâmetro encontrado, de

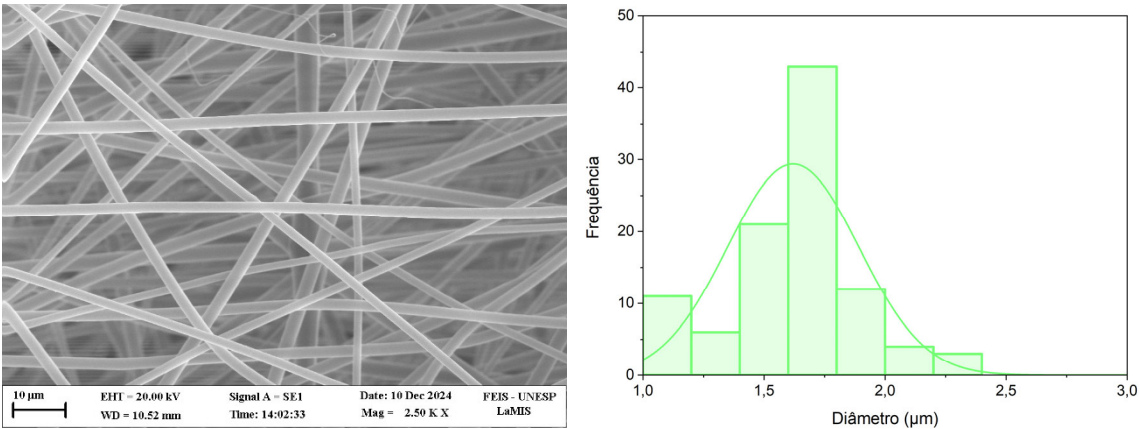
2,05 μm . Tais resultados reforçam que a quantidade de bioativo é um fator determinante na formação das fibras.

Tabela 13 - Diâmetro médio e desvio padrão das blendas poliméricas variando a porcentagem de *Curcuma longa* L.

Concentração de <i>Curcuma longa</i> L.	Diâmetro médio (μm)	Desvio padrão (μm)
2%	1,62	0,27
5%	1,72	0,32
10%	2,05	0,31

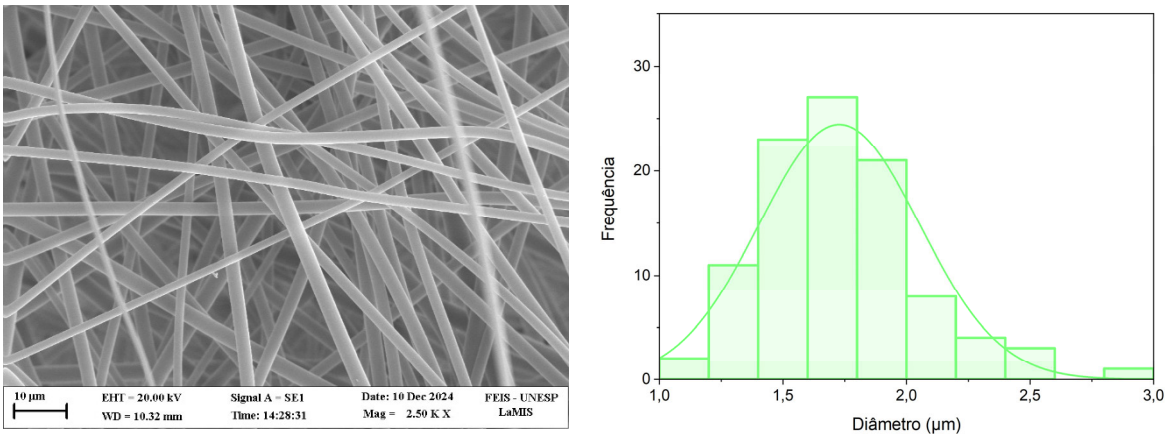
Fonte: Autor (2025).

Figura 29 – Imagem e diâmetro das fibras de PCL/PVP com 2% de *Curcuma longa*.



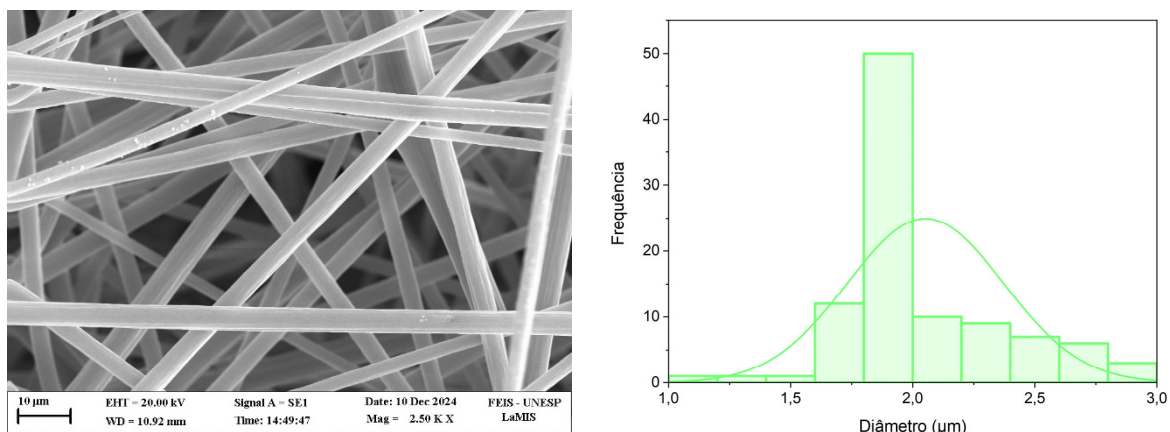
Fonte: Autor (2025).

Figura 30 – Imagem e diâmetro das fibras de PCL/PVP com 5% de *Curcuma longa*.



Fonte: Autor (2025).

Figura 31 – Imagem e diâmetro das fibras de PCL/PVP com 10% de *Curcuma longa*.



Fonte: Autor (2025).

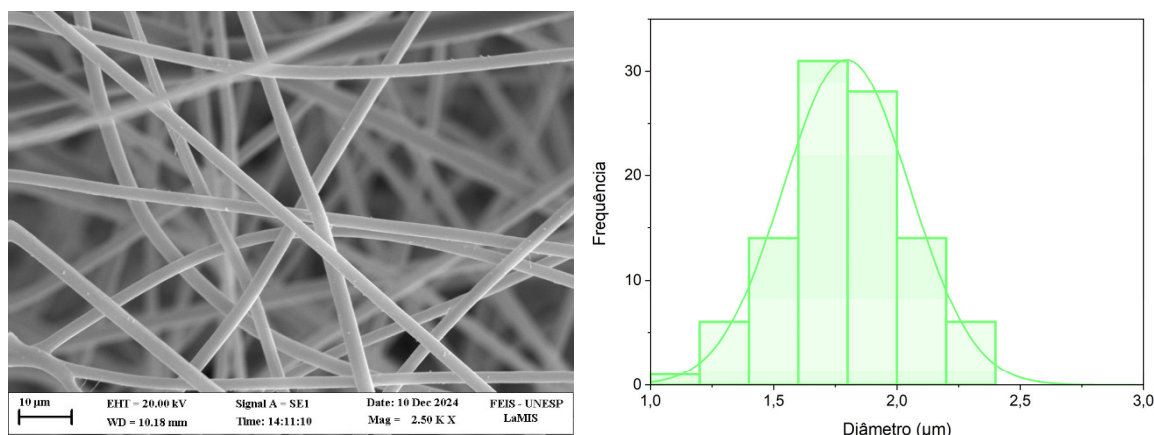
Os diâmetros das fibras apresentaram uniformidade entre as amostras, conforme observado. Portanto, recomenda-se atenção na concentração de cúrcuma na matriz polimérica para garantir uma distribuição homogênea e evitar a formação de partículas sobrepostas, assegurando assim a eficácia e a estabilidade do material desenvolvido.

A escolha da concentração de 2% de *Curcuma longa L.* fundamentou-se na alta potência do bioativo em relação a suas propriedades inibitórias, que permite obter os efeitos desejados mesmo em quantidades reduzidas. Além disso, essa concentração resulta em fibras com diâmetro menor, o que favorece a uniformidade da estrutura e a integridade do material, tornando-o mais adequado para as aplicações pretendidas.

5.3.1.4 Blenda de PCL/PVP incorporada com própolis vermelha e *Curcuma longa L.*

Após análise morfológica individual, os bioativos foram associados em uma única blenda polimérica, composta por 25% de PCL e 75% de PVP, com o objetivo de combinar as propriedades de cada componente. As concentrações de 15% de própolis e 2% de cúrcuma foram selecionadas de modo a equilibrar a eficácia dos bioativos com as características estruturais da matriz polimérica, garantindo a estabilidade e funcionalidade do material final. O diâmetro médio das fibras obtidas foi de 1,79 µm com desvio padrão de 0,25 µm. A Figura 32 apresenta a morfologia das fibras, acompanhada respectivamente do histograma.

Figura 32 – Imagem e diâmetro das fibras de PCL/PVP com 15% de própolis vermelha e 2% de *Curcuma longa*.



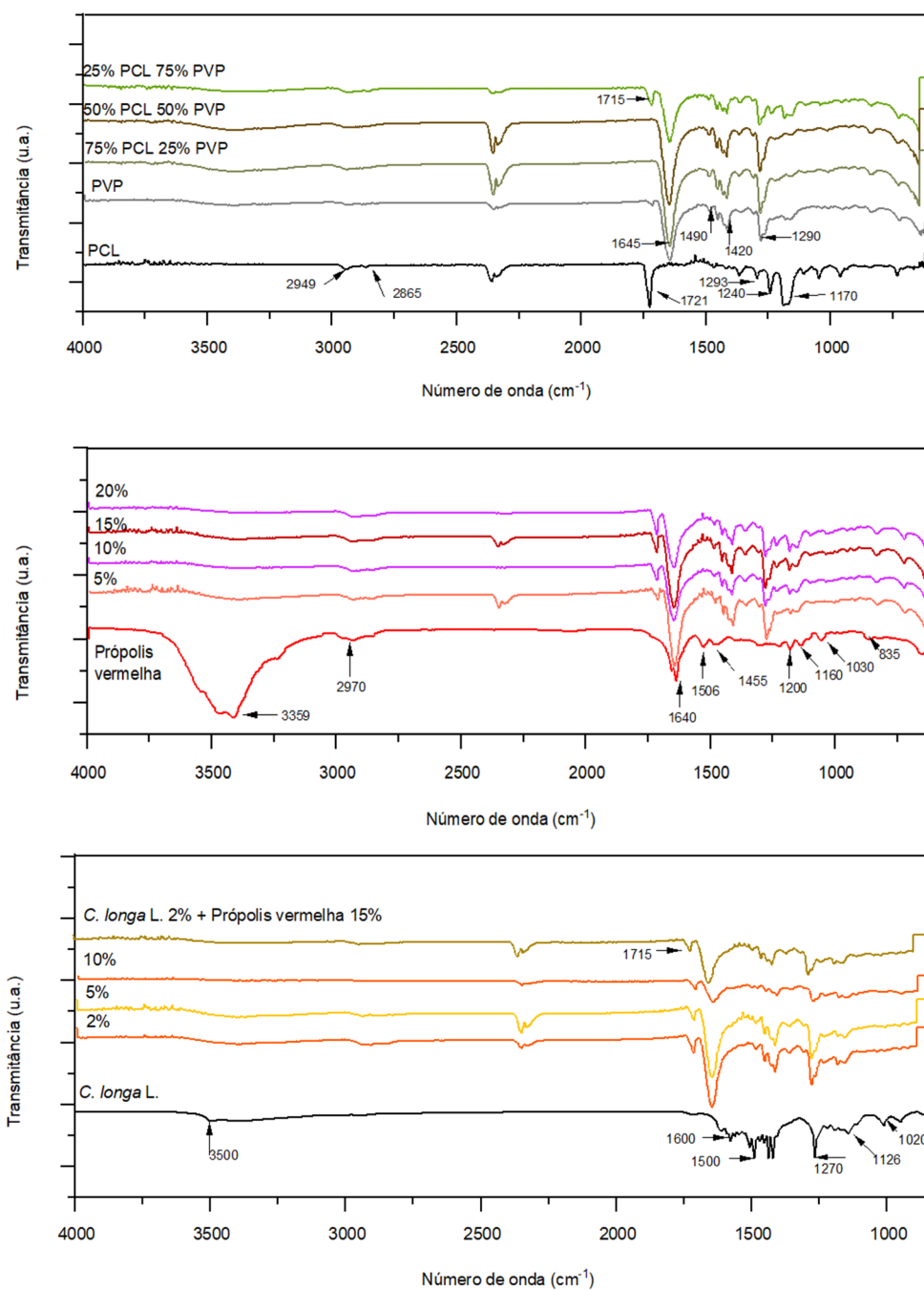
Fonte: Autor (2025).

As microfibras apresentaram considerável uniformidade, com superfícies lisas e bem definidas, o que favorece para adesão forte e reversível aos substratos, além de proporcionar maior estabilidade e funcionalidade [192, 193]. A estrutura homogênea obtida desempenha um papel crucial na liberação controlada de fármacos, uma vez que fibras uniformes garantem uma homogeneidade do bioativo ao longo da matriz, permitindo uma liberação mais previsível e controlada. Além disso, a sua uniformidade facilita o processo de liberação, pois a degradação da matriz ocorre de forma mais uniforme, resultando em uma liberação mais estável e eficaz do bioativo [194]. Esses resultados estão em consonância com os objetivos propostos, que visam aprimorar a liberação controlada dos bioativos.

5.3.2 Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

A espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) com acessório de reflexão total atenuada (ATR) foi utilizada para identificar e caracterizar os grupos funcionais presentes na blenda de PCL/PVP incorporada com própolis vermelha e cúrcuma. A análise permitiu avaliar interações químicas entre os componentes e possíveis modificações estruturais na matriz polimérica. As principais vibrações observadas nos espectros FTIR estão ilustradas na Figura 33.

Figura 33 - Espectros FTIR das mantas contendo PCL, PVP, extrato de própolis vermelha e *Curcuma longa* L.



Fonte: Autor (2025).

Foram analisadas amostras de mantas compostas por PCL 100% e PVP 100%, bem como blends de PCL/PVP nas proporções de 75% PCL / 25% PVP, 50% PCL / 50% PVP e 25% PCL / 75% PVP. Adicionalmente, foram obtidos espectros de FTIR

com o uso de pastilhas de Brometo de Potássio (KBr) para própolis vermelha (100%) e *Curcuma longa* L. (100%). Também foram investigadas blendas contendo 25% PCL e 75% PVP incorporadas com própolis vermelha em diferentes concentrações (5%, 10%, 15% e 20% m/m) e com *Curcuma longa* L. (2%, 5% e 10% m/m). Por fim, foi analisada a blenda final composta por 25% PCL, 75% PVP, 15% de própolis vermelha e 2% de cúrcuma.

O espectro de FTIR da PCL apresentou picos característicos que possibilitou a identificação de seus grupos funcionais principais. O pico mais intenso foi observado em 1721 cm^{-1} , relacionado ao estiramento da carbonila (C=O) do grupo éster, um dos principais grupos funcionais do PCL [195]. Além disso, foram observados picos em 2949 cm^{-1} e 2865 cm^{-1} , atribuídos ao estiramento de metileno (CH_2), assimétrico e simétrico respectivamente, característico de polímeros alifáticos [195, 196]. A banda em 1293 cm^{-1} identifica o alongamento do grupo éster (C-O e C-C) na fase cristalina do PCL. Outros picos menores foram identificados nas regiões de 1240 cm^{-1} e 1170 cm^{-1} , relacionados ao estiramento assimétrico e simétrico do grupo éster (C-O-C), que são frequentemente observados em polímeros contendo esses grupos [196].

O espectro do PVP apresenta o pico mais intenso em 1645 cm^{-1} , conferido ao estiramento da carbonila (C=O) do grupo amida, que é uma das principais características do PVP [197]. Os picos na região de 1490 cm^{-1} e 1420 cm^{-1} são frequentemente associados à deformação C-H do grupo metileno (CH_2), especialmente nas cadeias poliméricas. As bandas nessa faixa podem refletir a presença de unidades metileno (CH_2) que formam parte das cadeias do polímero [197]. A banda em 1290 cm^{-1} pode ser atribuída a vibrações do grupo C-N, mais especificamente, no contexto do anel N-vinilpirrolidona. Esta faixa geralmente está relacionada ao estiramento do grupo C-N dentro da estrutura da pirrolidona, que é o composto cíclico presente no PVP [198].

No espectro da blenda PCL/PVP composta por 25% PCL e 75% PVP, observou-se um deslocamento do pico da carbonila de 1721 cm^{-1} para 1715 cm^{-1} com diminuição da intensidade, o que sugere interações intermoleculares entre os grupos C=O do PCL e as ligações N-C do PVP [64]. Além disso, os picos característicos do PVP foram mais intensos e predominantes em relação aos picos do PCL, independentemente de sua concentração na amostra, indicando que o PVP dominou a resposta espectroscópica da mistura. Esse comportamento pode ser atribuído à

maior intensidade de seus picos em determinadas regiões, à presença de grupos funcionais ativos e à sua estrutura amorfa, que favorece interações com a luz infravermelha. Assim, o PVP se destaca no perfil espectral, especialmente nas regiões associadas à carbonila e ao grupo amida, resultando em picos mais nítidos e intensos [199].

Quanto à própolis vermelha, a região entre 3600 e 3000 cm^{-1} exibe uma forte absorção, com máximo em 3359 cm^{-1} , atribuída ao estiramento O-H de compostos fenólicos, como flavonoides e ácidos fenólicos presentes no material [200]. Ademais, a banda em 2970 cm^{-1} , de baixa intensidade, está associada à deformação axial do grupo CH_3 [200]. As absorções em 1640, 1506 e 1455 cm^{-1} correspondem ao estiramento C=C, característico do anel aromático dos flavonoides e ácidos fenólicos [201]. Já as bandas em 1200 cm^{-1} e 1160 cm^{-1} estão associadas à vibração dos grupos C–O em fenóis [200]. A banda em 1030 cm^{-1} está relacionada à vibração de uma ligação éter (C–O), enquanto a banda em 835 cm^{-1} pode ser atribuída à deformação angular fora do plano do grupo C–H em compostos aromáticos [200, 201]. Bandas localizadas abaixo de 900 cm^{-1} geralmente correspondem a deformações fora do plano em sistemas aromáticos [202].

Para as blendas eletrofiadas compostas por 25% de PCL e 75% de PVP incorporando própolis nas concentrações de 5%, 10%, 15% e 20%, o espectro apresentou um perfil característico do PVP. Observou-se um pico entre 1640 e 1645 cm^{-1} , que corresponde à sobreposição dos picos do estiramento C=C do anel aromático dos flavonoides presentes na própolis (1640 cm^{-1}) e do estiramento da carbonila (C=O) do grupo amida do PVP (1645 cm^{-1}). Essa sobreposição sugere possíveis interações entre os grupos funcionais da própolis e do PVP, como ligações de hidrogênio, as quais podem influenciar as características espectroscópicas da blenda [203], ou também apenas a contribuição de ambas as bandas.

O espectro FTIR da *Curcuma longa* L. revelou picos identificáveis associados aos grupos funcionais presentes em seus compostos ativos, como a curcumina. Na região de 3500 cm^{-1} , observou-se uma banda atribuída ao estiramento do grupo O-H, característico de compostos fenólicos [204]. Os picos em torno de 1600 cm^{-1} e 1500 cm^{-1} são referentes ao estiramento C=C conjugado, típico dos anéis aromáticos da curcumina. O pico em 1500 cm^{-1} , pode ainda, envolver contribuições do estiramento C=O, associado aos grupos carbonila presentes em estruturas aromáticas [204, 205].

A banda em 1270 cm^{-1} corresponde ao estiramento C-O, frequentemente observado em éteres e derivados fenólicos [206]. Outras bandas menores, localizadas nas regiões de 1126 cm^{-1} e 1020 cm^{-1} , indicam deformações C-H e estiramentos adicionais de C-O, características de flavonoides e compostos relacionados à curcumina [206].

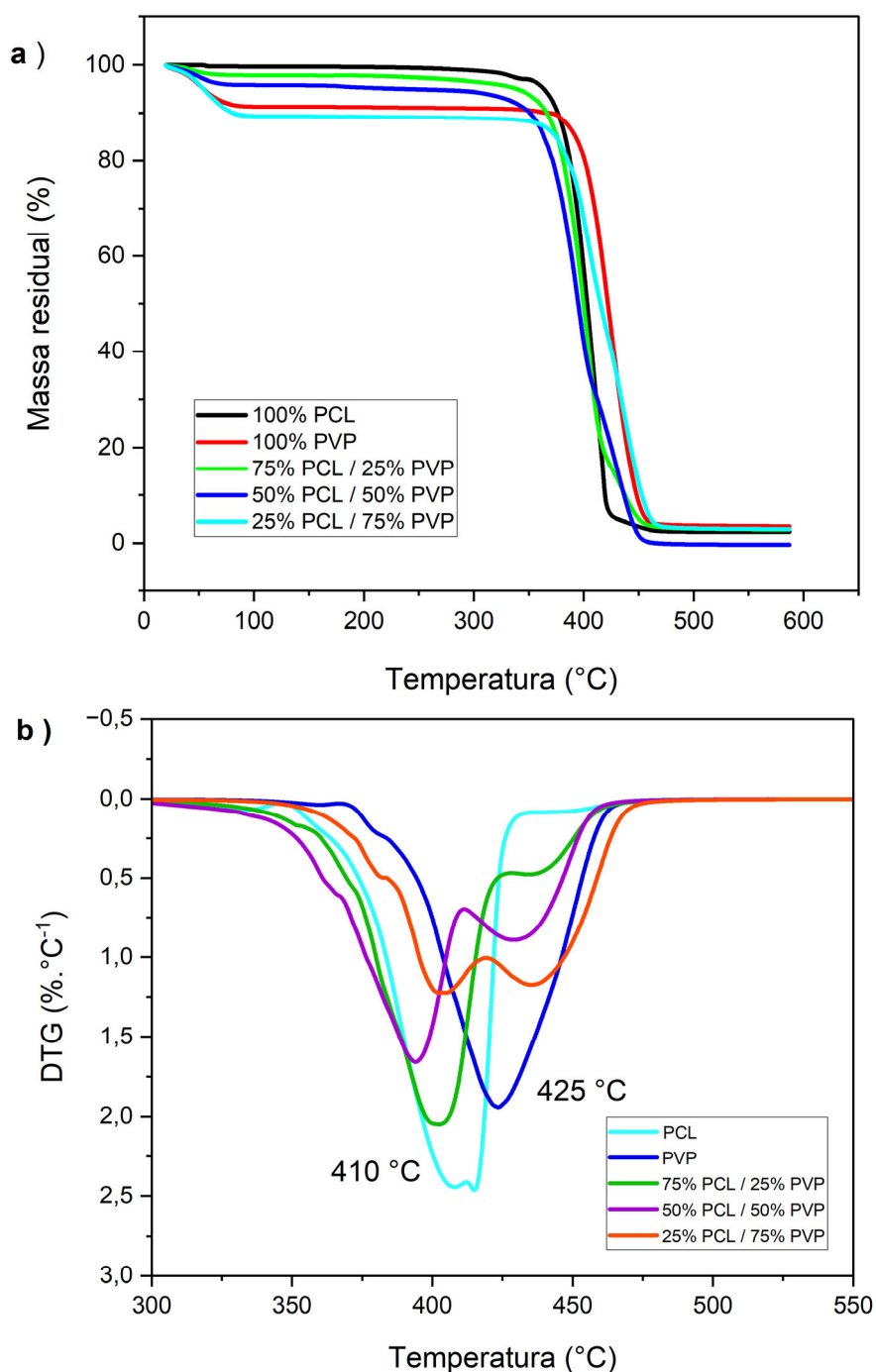
As blendas compostas por 25% PCL e 75% PVP com adição de *Curcuma longa* L. nas concentrações de 2%, 5% e 10% não apresentaram diferenças significativas nos espectros FTIR em comparação às blendas sem cúrcuma. Os principais picos característicos do PCL e PVP permaneceram inalterados, sugerindo que a presença desse bioativo, em diferentes proporções, não causou modificações nas propriedades espectroscópicas. O mesmo padrão foi observado para a blenda com 2% de cúrcuma e 15% de própolis vermelha. Esses resultados indicam que, embora os compostos bioativos estejam incorporados na blenda, suas presenças não interferem, de forma relevante, na estrutura espectroscópica do compósito. Bhullar et al. [207] relataram um comportamento semelhante ao utilizarem a técnica de eletrofiação para incorporar bioativos em PCL, sem observar alterações na conformação do material.

5.3.3 Análise termogravimétrica (TGA)

A análise termogravimétrica (TGA) e sua derivada (DTG) foram utilizadas para avaliar a estabilidade térmica das mantas eletrofiadas à base de PCL/PVP com diferentes concentrações de própolis vermelha e *Curcuma longa* L.. As curvas de TGA mostram a variação da massa residual em função da temperatura, enquanto as curvas de DTG apresentam a taxa de variação da perda de massa, possibilitando a identificação precisa dos eventos associados à degradação térmica.

Para uma melhor compreensão dos resultados, as análises foram organizadas em dois conjuntos. O primeiro conjunto (Figura 34) apresenta as curvas de TGA e DTG para as mantas contendo 100% PCL, 100% PVP e as blendas 75% PCL 25% PVP, 50% PCL 50% PVP e 25% PCL 75% PVP. O segundo conjunto (Figura 35) enfatiza a formulação composto por 25% PCL 75% PVP, incorporando diferentes concentrações de própolis vermelha (5, 10, 15 e 20%), *Curcuma longa* L. (2, 5 e 10%) e a combinação de 2% de cúrcuma com 15% de própolis vermelha.

Figura 34 – Curvas de TGA (a) e DTG (b), para PCL, PVP e suas respectivas blendas.



Fonte: Autor (2025).

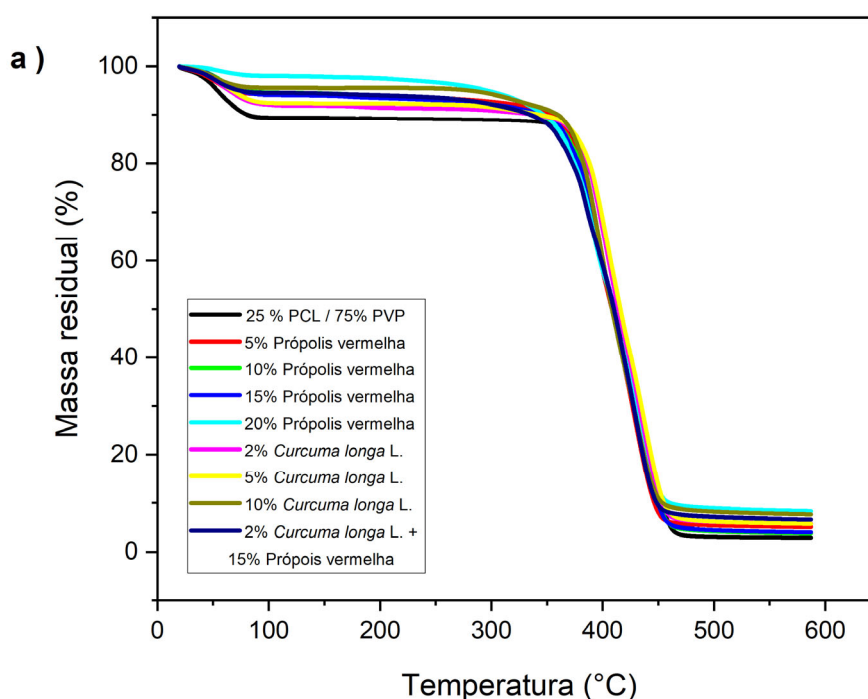
A análise térmica, conduzida por meio da curva de TGA (Figura 34 - a) revelou perfis térmicos distintos para PCL e PVP puros. O PCL apresentou início de perda de massa significativa acima de 350°C, com a degradação principal ocorrendo no intervalo de 400 a 450°C. Por sua vez, o PVP iniciou a perda de massa a 380 °C, atingindo a uma temperatura máxima de perda em 460 °C. Nas blendas poliméricas,

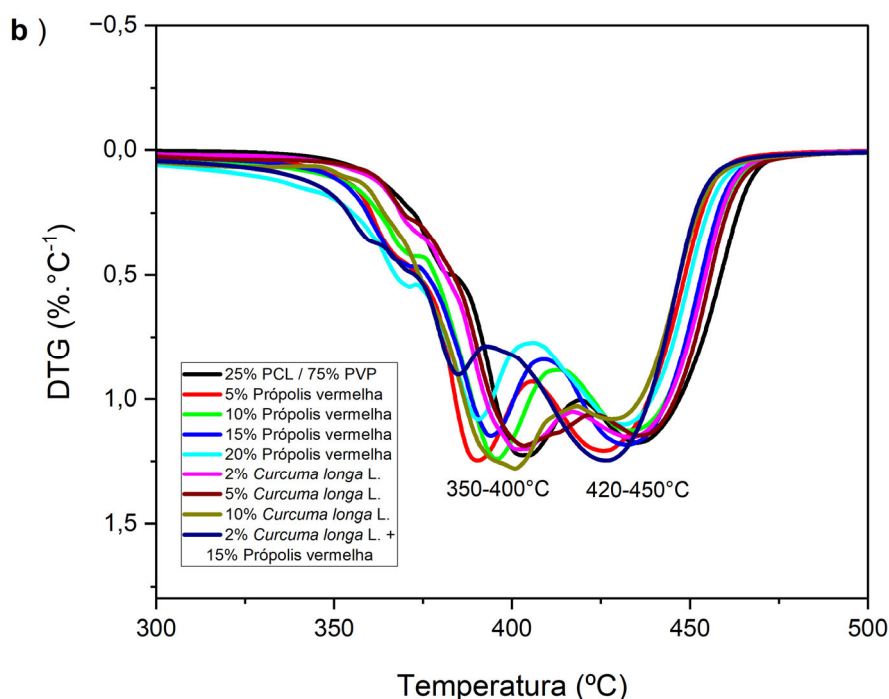
a temperatura inicial de degradação apresentou-se próxima aos valores característicos de cada polímero individuais, ocorrendo de forma gradual.

Na curva de DTG (Figura 34 – b), observa-se um pico principal para o PCL a 410°C e outro para o PVP a 425°C. Nas demais amostras, verificou-se dois picos, cujas intensidades variam de acordo com a concentração de PVP. As blendas contendo 75% e 50% de PCL apresentam o primeiro pico mais intenso, próximo ao do PCL, enquanto o segundo pico se desloca ao PVP. Com o aumento do teor de PVP, o segundo pico se intensifica, o que sugere uma leve interação entre os polímeros, possivelmente resultando em uma redução na estabilidade térmica [208].

Esse comportamento corrobora a hipótese de que, mesmo misturados, PCL e PVP mantêm suas características térmicas individuais, sem ocorrência de interação intensa o suficiente para modificar de forma significativa seus perfis de degradação, evidenciando, assim, uma baixa miscibilidade [64]. No entanto, o resíduo final não apresentou variações significativas, indicando que ambos os polímeros são degradados quase que integralmente dentro da faixa de temperatura analisada.

Figura 35 – Curvas de TGA (a) e DTG (b), para blenda 25% PCL 75 %PVP com a incorporação de própolis vermelha e *Curcuma longa* L.





Fonte: Autor (2025).

A blenda composta por 25% de PCL / 75% de PVP foi utilizada como controle para a incorporação dos bioativos, servindo como referência para avaliar as possíveis alterações térmicas e estruturais decorrentes da adição de *Curcuma longa* L. e própolis vermelha. A análise da curva de TGA (Figura 35 – a), revela um comportamento semelhante para todas as formulações, com inicial da degradação térmica na faixa de 350 °C e temperatura de perda máxima em 460 °C. Além disso, as amostras apresentaram apenas um desvio sutil na degradação térmica em relação à blenda pura, o que sugere que a adição de cúrcuma e própolis vermelha, tanto isoladamente quanto em conjunto, não interfere significativamente no comportamento térmico da matriz polimérica.

Na curva de análise DTG (Figura 35 – b), observa-se a formação de dois picos em todas as amostras. O primeiro, localizado entre 350–400°C, pode estar associado à degradação do PCL, em concordância com valores previamente reportados na literatura [209]. O segundo pico localizado entre 420 e 450°C, está relacionado à decomposição térmica do PVP [210].

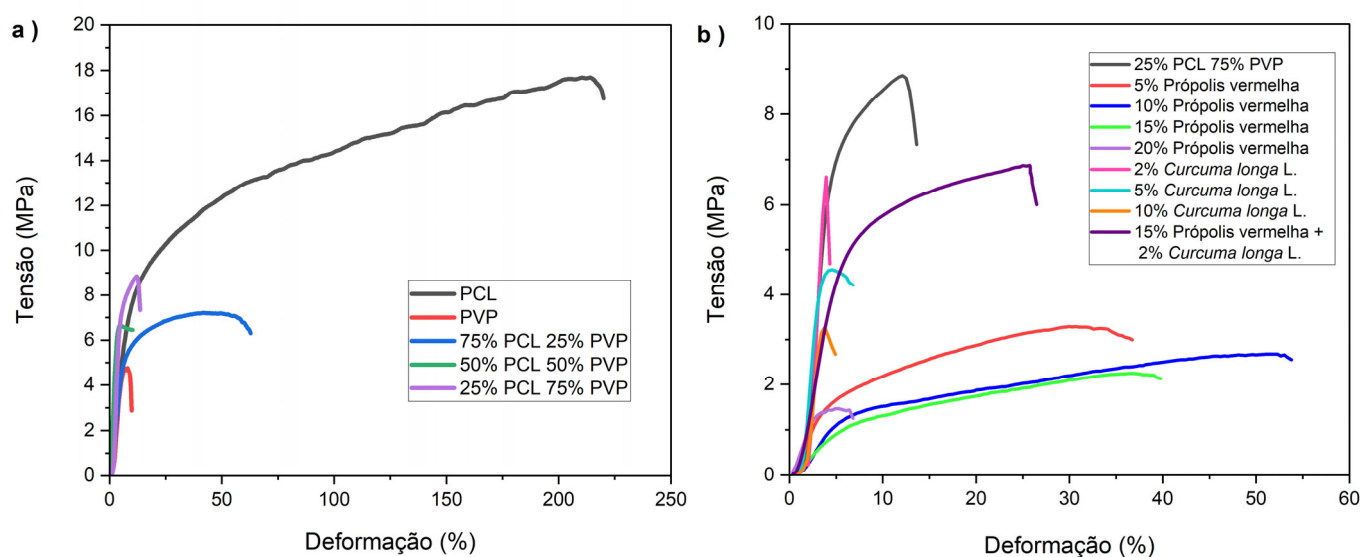
Por fim, a blenda preserva os dois eventos térmicos principais correspondentes ao PVP e PCL, o que evidencia que os polímeros continuam degradando individualmente. A incorporação de própolis e cúrcuma promove uma leve modificação na estabilidade térmica, mas não impede a degradação dos polímeros de forma significativa. Alguns picos mais intensos ou deslocados podem estar associados à degradação de compostos voláteis presentes na própolis e cúrcuma.

5.3.4 Ensaios mecânicos

Os ensaios mecânicos de tração foram realizados para avaliar o comportamento das mantas eletrofiadas compostas de PCL/PVP, bem como investigar os efeitos da incorporação de própolis vermelha e *Curcuma longa* L. nas propriedades mecânicas do material. As curvas tensão-deformação possibilitam a determinação dos parâmetros como tensão máxima e deformação máxima (Tabela 14), fornecendo informações sobre a influência da composição na resposta mecânica das amostras.

Para uma melhor compreensão dos resultados, as análises foram organizadas em dois conjuntos. O primeiro conjunto (Figura 36 - a) apresenta as curvas de tensão-deformação para as mantas contendo 100% de PCL, 100% de PVP e suas blendas nas proporções de 75% PCL e 25% PVP, 50% PCL e 50% PVP, e 25% PCL e 75% PVP. O segundo conjunto (Figura 36 - b) destaca a formulação 25% PCL 75% PVP, avaliando a incorporação de diferentes concentrações de própolis vermelha (5, 10, 15 e 20%), *Curcuma longa* L. (2, 5 e 10%) e a combinação de 2% de cúrcuma com 15% de própolis vermelha.

Figura 36 – Curvas Tensão-Deformação das Mantas de PCL, PVP e suas blendas (a) com diferentes concentrações de própolis vermelha e *Curcuma longa* L. (b).



Fonte: Autor (2025).

Tabela 14 - Propriedades mecânicas das mantas eletrofiadas.

Amostra	Tensão Máxima (Mpa)	Deformação Máxima (%)
PCL	17,7 ± 1	214,8 ± 15,3
PVP	4,7 ± 0,8	7,6 ± 1,2
75% PCL 25% PVP	6,9 ± 0,9	57,9 ± 5,8
50% PCL 50% PVP	6,6 ± 0,4	4,5 ± 0,9
25% PCL 75% PVP	8,8 ± 0,7	12,1 ± 2,1
5% própolis vermelha	3,2 ± 0,9	34,1 ± 4,9
10% própolis vermelha	2,6 ± 0,5	52,3 ± 6,2
15% própolis vermelha	2,2 ± 0,2	37,1 ± 5,1
20% própolis vermelha	1,4 ± 0,4	4,9 ± 0,8
2% <i>Curcuma longa</i> L.	6,2 ± 0,8	3,9 ± 0,7
5% <i>Curcuma longa</i> L.	4,5 ± 0,5	4,5 ± 0,8
10% <i>Curcuma longa</i> L.	3,2 ± 0,3	3,8 ± 0,7
15% própolis vermelha + 2% <i>Curcuma longa</i> L.	6,8 ± 0,5	25,8 ± 3,9

Fonte: Autor (2025).

Ao analisar as curvas tensão-deformação da Figura 36 – a, observa-se que o PCL puro possui a maior resistência mecânica e alongamento antes da fratura, o que confirma seu caráter mais dúctil, conforme os valores encontrados na literatura [211]. Por outro lado, o PVP puro apresenta menor resistência e alongamento, indicando um comportamento mais frágil. Esse comportamento pode ser atribuído à ausência de organização cristalina, o que contribui para suas características de alta solubilidade em água e boa processabilidade, mas com resistência mecânica inferior quando comparado a polímeros semicristalinos [212].

À medida que o PVP é incorporado ao PCL, há uma redução da resistência e da deformação máxima, sugerindo que a miscibilidade desses polímeros afeta negativamente as propriedades mecânicas da blenda. A blenda composta por 25% de PCL e 75% de PVP apresenta menor resistência e deformação em comparação a

blenda com incorporação de 75% de PCL e 25% PVP, mostrando que um maior teor de PVP tende a fragilizar o material [64].

A Figura 36 – b apresenta os resultados da análise mecânica das blendas compostas por 25% de PCL e 75% de PVP na sua forma pura, o qual ainda apresenta a maior tensão máxima na ausência de aditivos. Percebe-se que a adição de própolis vermelha e *Curcuma longa* afeta significativamente as propriedades mecânicas. Observa-se que o aumento do teor de própolis vermelha tende a reduzir a resistência mecânica e a rigidez, indicando um efeito plastificante [213]. Além disso, a amostra com 20% de própolis demonstrou uma grande mudança na tensão e deformação quando comparada às demais concentrações, indicando a saturação do bioativo, o que pode acarretar um grande impacto na estrutura molecular.

A adição de *Curcuma longa* também resulta em uma diminuição da resistência mecânica da manta, embora em menor grau do que a própolis. No entanto, embora o material se torne mais rígido, constata-se uma menor capacidade de deformações antes da fratura. Em relação à amostra contendo 15% de própolis vermelha e 2% de *Curcuma longa*, verificou-se um desempenho intermediário, sugerindo a possibilidade de sinergia entre os compostos.

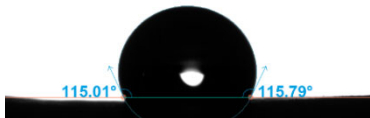
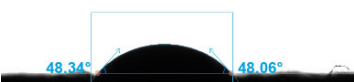
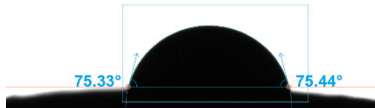
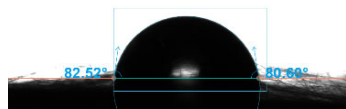
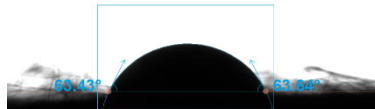
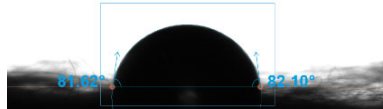
Por fim, os resultados obtidos demonstram que a formulação ótima dependerá do equilíbrio entre as propriedades mecânicas e outros fatores desejáveis, como bioatividade e biodegradabilidade. É evidente que a adição dos bioativos intensifica a fragilidade das mantas quanta a resistência a tração, assim como a adição de PVP. Esses resultados destacam a importância crucial de manter o PCL como componente essencial na matriz das blendas, uma vez que sua ausência resulta na formação de uma manta com propriedades mecânicas frágeis, tornando-a inadequada para aplicações que exigem maior resistência e ductilidade.

5.3.5 Molhabilidade

A molhabilidade das amostras foi analisada por meio da medição do ângulo de contato, permitindo a classificação dos materiais quanto à sua natureza hidrofílica ou hidrofóbica. Inicialmente, a análise foi realizada em mantas de PCL puro e PVP puro, com o objetivo de comparar o comportamento individual desses polímeros. Em seguida, avaliou-se a blenda contendo 25% de PCL e 75% de PVP, tanto em sua

forma pura quanto após a incorporação dos bioativos, própolis vermelha e *Curcuma longa*. Dessa maneira, foi possível observar a influência da composição da blenda e da adição dos extratos naturais na interação do material com a água. No Quadro 1, apresenta-se as variações nos ângulos de contato em função das diferentes formulações, evidenciando as modificações na superfície das mantas.

Quadro 1 – Ângulo de contato das mantas eletrofiadas.

Amostra	Ângulo de Contato	Imagem
PCL	115,4°	
PVP	48,2°	
25% PCL 75% PVP	75,38°	
25% PCL 75% PVP + 15% Própolis vermelha	81,56°	
25% PCL 75% PVP + 2% <i>Curcuma longa</i> L.	63,53°	
25% PCL 75% PVP + 15% Própolis vermelha + 2% <i>Curcuma longa</i> L.	81,86°	

Fonte: Autor (2025).

O PCL puro apresentou um ângulo de contato elevado, correspondente a $115,4^\circ$, caracterizando-o como um material hidrofóbico. No entanto, o PVP exibiu um ângulo de contato significativamente inferior, de $48,2^\circ$, evidenciando sua natureza hidrofílica. Esse resultado já era esperado, uma vez que o PVP é reconhecido como um polímero hidrofílico [60], enquanto o PCL possui baixa afinidade com a água [54]. Em relação à blenda composta por 25% de PCL e 75% de PVP, sem aditivos, verificou-se um ângulo de contato intermediário de $75,38^\circ$, confirmando que a adição de PVP aumentou a hidrofilicidade do PCL. Dessa forma, essa blenda pode ser caracterizada como um material de alta molhabilidade [214].

A incorporação de 15% de própolis vermelha à blenda aumentou o ângulo de contato para $81,56^\circ$, indicando uma leve redução na hidrofilicidade. Isso sugere que, embora contenha compostos polares ou com polaridades intermediárias, como fenóis e flavonoides [75], a própolis vermelha pode introduzir outros componentes menos hidrofílicos. Sendo uma substância complexa composta, majoritariamente por resinas vegetais, cera e óleos essenciais [78], que possuem características apolares, a própolis contribuiu para a diminuição da compatibilidade da blenda com a água, resultando no aumento do ângulo de contato observado.

A incorporação de 2% de *Curcuma longa* à blenda resultou na redução do ângulo de contato para $63,53^\circ$, conferindo à superfície do material um caráter mais hidrofílico. Esse comportamento pode estar relacionado à presença de compostos bioativos, como a curcumina, que embora apresente caráter predominantemente apolar, contém grupos funcionais hidroxila e metoxila capazes de estabelecer interações polares, favorecendo maior afinidade da superfície com a água [95].

Com a adição de 15% de própolis vermelha e 2% de cúrcuma, obteve-se um ângulo de $81,86^\circ$, valor próximo ao encontrado na blenda contendo apenas própolis vermelha ($81,56^\circ$). Esse resultado sugere que o efeito hidrofílico da *Curcuma longa* foi neutralizado pela própolis, conferindo um comportamento mais próximo ao da própolis isolada. No entanto, todas as modificações observadas são relativamente sutis, mantendo-se o material com características hidrofílicas e de elevada molhabilidade [214].

Em resumo, a modificação da molhabilidade do PCL foi alcançada pela incorporação de PVP, o que resultou em uma superfície mais hidrofílica e de molhabilidade considerável. A adição dos bioativos, embora aumente ligeiramente a hidrofobicidade da manta, não compromete sua funcionalidade e mantém suas

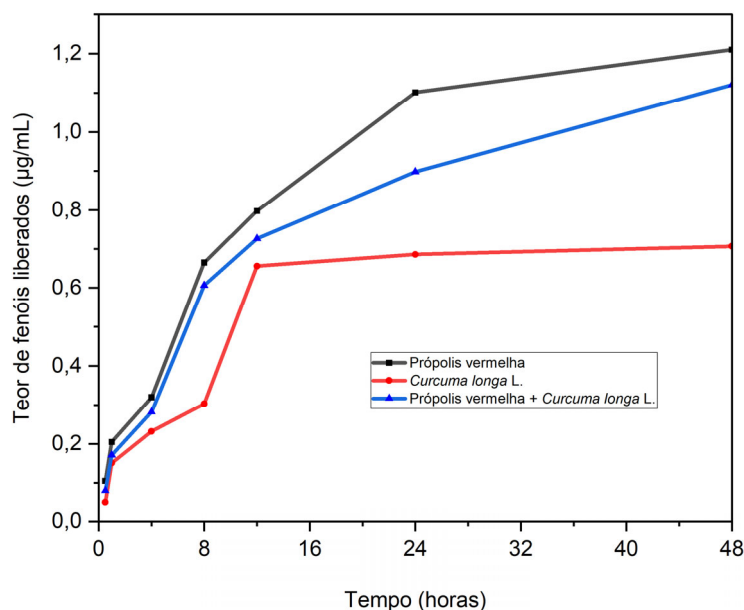
propriedades adequadas para aplicações em curativos. Esse comportamento aprimorado favorece a interação com a água, permitindo a permeação de nutrientes, bem como a manutenção de um ambiente úmido ideal para a regeneração celular [113].

5.3.6 Liberação de fenóis

Os ensaios de liberação foram conduzidos para avaliar a liberação de fenóis dos extratos de própolis vermelha e *Curcuma longa* L. em meio aquoso, incorporados à blenda composta por 75% de PVP e 25% de PCL. Para essa análise, foram avaliadas as blendas contendo 15% de própolis vermelha, 2% de cúrcuma e a combinação de ambos os extratos.

A quantificação dos compostos fenólicos foi realizada por meio do método de Folin-Ciocalteu [116]. Para a calibração, foi construída uma curva padrão (Figura 17) utilizando soluções de ácido gálico em diferentes concentrações. A equação da reta e o valor do coeficiente de determinação (R^2) foram, respectivamente, $y = 0,099x + 0,61$ e $R^2 = 0,99429$. O teor de fenóis foi expresso em microgramas por mililitro ($\mu\text{g/mL}$) para os tempos de 30 min, 1 h, 4 h, 8 h, 12 h, 24 h e 48 h. O perfil de liberação dos bioativos ao longo do tempo pode ser observado na Figura 37.

Figura 37 – Perfil de liberação de fenóis em meio aquoso para os extratos de própolis vermelha e *Curcuma longa* incorporados à blenda de 25% PCL 75% PVP.



Fonte: Autor (2025).

Observa-se que o comportamento cinético das amostras, representado na Figura 37, apresenta uma liberação inicial acelerada nas primeiras 8 horas, seguida por uma estabilização gradual até 48 horas. Kim, et al. [64], descreve característica semelhante em seus estudos. Quando o PVP é combinado com outros polímeros ou substâncias, como o PCL, pode ocorrer um efeito de "liberação explosiva", onde uma quantidade significativa do fármaco é liberada rapidamente no início, seguido por uma liberação mais controlada ao longo do tempo.

O PVP é amplamente utilizado como modificador de liberação em matrizes miniaturizadas devido às suas propriedades únicas que influenciam o comportamento de difusão. A principal razão pela qual o PVP pode aumentar a taxa de liberação é sua alta solubilidade em água e a capacidade de formar matrizes solúveis que favorecem a liberação rápida do princípio ativo [215].

Em relação à quantificação, a formulação contendo própolis vermelha apresentou a maior quantidade de fenóis liberados ao longo do tempo, atingindo aproximadamente 1,2 µg/mL ao término do experimento. Em contraste, a manta contendo apenas *Curcuma longa*, liberou uma quantidade menor de fenóis, alcançando um platô em torno de 0,7 µg/mL após aproximadamente 8 horas, sem variações expressivas nas medições subsequentes. Por sua vez, a formulação contendo própolis vermelha associada à *Curcuma longa* demonstrou um perfil de liberação intermediário, superior ao da cúrcuma isolada, porém inferior ao da própolis vermelha.

Esse comportamento pode estar associado ao teor de fenóis totais dos extratos. A própolis vermelha apresentou, conforme indicado no item 5.2.1, a maior concentração de compostos fenólicos, que, em geral, justifica sua liberação mais intensa em relação a quantidade de fenóis. No que se refere a blenda formada pela adição de própolis e cúrcuma, a interação entre os dois extratos pode ter alterado o comportamento de liberação, possivelmente devido a efeitos sinérgicos entre os compostos ativos, o que poderia elucidar a menor quantidade de fenóis liberados em relação a própolis. Estudos prévios indicam que a própolis pode apresentar interações sinérgicas com diversos medicamentos, potencializando suas atividades terapêuticas [216, 217].

A utilização da blenda PVP/PCL revelou-se fundamental para alcançar o perfil de liberação observado. A matriz hidrofílica do PVP pode ter facilitado a dissolução rápida da própolis vermelha, enquanto o PCL contribui para a formação de uma estrutura

mais estável que prolonga a liberação ao longo do tempo. Os resultados deste trabalho indicam um potencial promissor para aplicações em curativos, pois a liberação controlada e a combinação de propriedades terapêuticas dos extratos de própolis e *Curcuma longa* podem proporcionar benefícios como ação antimicrobiana e anti-inflamatória sustentada, cruciais para o tratamento de feridas e a otimização do processo de cicatrização.

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi desenvolvido um novo material com grandes possibilidades de aplicações na área da saúde. Foram feitos estudos sobre biomateriais, com ênfase na elaboração de curativos funcionais a partir de blendas poliméricas contendo PCL, PVP, própolis vermelha e *Curcuma longa* L. O projeto teve também como objetivo avaliar as propriedades térmicas e mecânicas do material, além de caracterizar as propriedades químicas e biológicas dos extratos, buscando compreender sua viabilidade para aplicações biomédicas.

Os resultados obtidos demonstraram que a própolis vermelha apresenta uma concentração superior de flavonoides, fenóis totais e atividade antioxidante em comparação à cúrcuma, indicando seu potencial como um agente promissor no processo de cicatrização. No entanto, os testes antimicrobianos revelaram que a cúrcuma possui uma atividade mais expressiva em relação à própolis. A atividade antimicrobiana desempenha um papel fundamental na recuperação da pele, pois reduz a carga microbiana na área lesionada, prevenindo infecções e favorecendo um ambiente adequado para a regeneração tecidual. Diante disso, a combinação desses bioativos em um curativo pode proporcionar uma abordagem mais eficaz, unindo os benefícios individuais de cada composto e promovendo uma ação sinérgica que potencializa tanto a cicatrização quanto a proteção contra infecções, otimizando a aplicação terapêutica.

Além disso, a matriz polimérica utilizada na produção das mantas atua como um sistema de liberação controlada, permitindo a encapsulação dos compostos bioativos presentes nos extratos e favorecendo sua estabilidade e biodisponibilidade. Esse encapsulamento contribui para uma liberação gradual e sustentada dos agentes antimicrobianos diretamente na região lesionada, prolongando sua ação e aumentando a eficácia contra microrganismos patogênicos. Como resultado, observa-se uma melhora na inibição microbiológica, o que reforça o papel da matriz como uma aliada essencial na funcionalização do curativo com compostos naturais.

As mantas eletrofiadas foram produzidas com sucesso, apresentando um diâmetro médio de fibras de 1,79 μm . Quanto às análises realizadas, estas indicaram que a adição de própolis vermelha e *Curcuma longa* não influenciou significativamente as propriedades térmicas das blendas poliméricas, conforme evidenciado pelos ensaios de TGA e DTG.

A característica hidrofóbica do PCL foi modificada pela adição de PVP na formação da blenda polimérica, resultando em um material de elevada molhabilidade. O aumento da molhabilidade no curativo pode ocasionar o melhor ancoramento e proliferação das células no meio fisiológico. Além disso, foi possível obter perfil de liberação dos compostos bioativos com a blenda.

No que diz respeito às propriedades mecânicas, a incorporação de PCL ao PVP resultou em um aumento da resistência, contribuindo para a melhoria do desempenho mecânico de um polímero naturalmente frágil como o PVP. Podendo ser manuseado e utilizado como um curativo.

Dessa maneira, os resultados obtidos sugerem que as blendas poliméricas desenvolvidas neste trabalho possuem potencial para aplicações em biomateriais, com destaque na área de engenharia tecidual e curativos funcionais. Portanto, é fundamental que pesquisas futuras investiguem a biocompatibilidade e a resposta biológica desses materiais em modelos *in vitro*, a fim de validar sua segurança e eficácia para uso clínico. Neste contexto, o presente estudo contribui para o progresso na área de biomateriais, abrindo caminho para o desenvolvimento de novas abordagens terapêuticas baseadas em materiais bioativos e sustentáveis.

REFERÊNCIAS

- [1] O'BRIEN, F. J. **Biomaterials & scaffolds for tissue engineering**. Materials today, v. 14, n. 3, p. 88-95, 2011.
- [2] ACERO, L. Internacionalização, ciência e saúde: a medicina regenerativa global e os mercados paralelos. Ciência & Saúde Coletiva, 20(2), 433–440, 2015.
- [3] CZUBA, L. **Application of Plastics in Medical Devices and Equipment**. Handbook of Polymer Applications in Medicine and Medical Devices. p. 9-19, 2014.
- [4] SANTOS, D. M.; SILVA, K. T.; COSTA V. P. V.; OLIVEIRA, L. F. R. CORREA, D. S. **Fibras eletrofiadas como curativos inteligentes para o tratamento de feridas na pele – Eletrofiação e nanofibras: Fundamentos e aplicações – Cap. 8, 195-208, 2024.**
- [5] ZONG, X.; KIM, K.; FANG, D.; RAN, S.; HSIO, B. S.; CHU, B. **Structure and process relationship of electrospun bioabsorbable nanofiber membranes**. Polymer, v. 43, p. 4403 - 4412, 2002.
- [6] KURAKULA, M.; RAO, G.S.N.K., **Pharmaceutical assessment of polyvinylpyrrolidone (PVP): As excipiente from conventional to controlled delivery systems with a spotlight on COVID-19 inhibition**. Journal of Drug Delivery Science and Technology, v. 60, p. 1-25, 2020.
- [7] FRANCO, P.; DE MARCO, I., **The Use of Poly(N-vinyl pyrrolidone) in the Delivery of Drugs: A Review**. Polymers, v.12, p.2-29, 2020.
- [8] INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA. **Soluções Tecnológicas – Filme polimérico com fármaco para curativos**. Rio de Janeiro: INT, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/int/pt-br/nucleo-de-inovacao-tecnologica/solucoes-tecnologicas-filme-polimerico-com-farmaco-para-curativos-int-mcti.pdf/view>. Acesso em: 15 out. 2024.
- [9] LI, M.; XIA, W.; Khoong, Y.; et al. **Smart and versatile biomaterials for cutaneous wound healing**. Biomaterials Research, 27(1) nº 87, 2023.
- [10] MEMIC, A. et al. **Latest Progress in Electrospun Nanofibers for Wound Healing Applications**. ACS applied bio materials vol. 2,3 p. 952-969, 2019.
- [11] MERCANTE, L. A.; ANDRE, R. F.; MACEDO, J. B.; PAVINATTO, A.; CORREA, D. S.; **Nanofibras eletrofiadas e suas aplicações: avanços na última década**. Quim. Nova, Vol. 44, No. 6, 717-736, 2021.
- [12] JIFFRIN, R.; RAZAK, S.; JAMALUDIN, M.; et al. **Electrospun Nanofiber Composites for Drug Delivery: A Review on Current Progresses**. Polymers (Basel);14(18):3725, 2022.

- [13] EMBRAPA – **Produção de Própolis** – Teresina, PI, 2010. Disponível em: www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/885228/1/ProducaoPropolis.pdf. Acesso em: 15 out. 2024.
- [14] PEREIRA, A.; SEIXAS, F.; AQUINO, N.; **Própolis: 100 anos de pesquisa e suas perspectivas futuras**. Quim. Nova 25: 321-326, 2002.
- [15] SILVA, D. C. B.; LIMA, H. M. R.; SILVA, F. L.; **Atividade da própolis vermelha no controle de bactérias da cavidade oral**. Research, Society and Development, v. 10, n. 14, 2021.
- [16] LU, Y.; WU, C.; YUAN, Z. **Determination of hesperetin, cinnamic acid and nicotinic acid in propolis with micellar electrokinetic capillary chromatography**. Fitoterapia, v.75, n.3/4, p.267-276, 2004.
- [17] ALBUQUERQUE, K. TONHOLO, J. **Própolis vermelha de Alagoas: Uma oportunidade de negócio sustentável**. Marechal Deodoro, 2021.
- [18] XIANG, Z.; WANG, X.Q.; CAI, X.J.; ZENG, S.; **Metabolomics study on quality control and discrimination of three Curcuma species based on gas chromatograph–mass spectrometry**. Phytochem. Anal. 22 (5), p.411–418, 2011.
- [19] YADAV, P. R.; TARUN, R.; **Versatility of turmeric: a review the golden spice of life**. J. Pharmacogn. Phytochem. 6 (1) p.41–46, 2017.
- [20] IWEALA, E. J.; UCHE, M. E.; DIKE, E. D.; et. al. **Curcuma longa (Turmeric): Ethnomedicinal uses, phytochemistry, pharmacological activities and toxicity profiles —A review**. Pharmacological Research - Modern Chinese Medicine, 2023.
- [21] LI, Y.; WU, Y.; LI, Y.; GUO, F.; **Review of the traditional uses, phytochemistry, and pharmacology of Curcuma wenyujin** YH Chen et C. Ling. J. Ethnopharmacol, 269, p. 113–689, 2021.
- [22] BOCCHI, M.; FERNANDES, E. V.; **Influência do açafrão (Curcuma longa) na melhoria dos parâmetros biológicos e comportamentais: uma revisão narrativa**. Semina: Ciências Biológicas e da Saúde, Londrina, v. 43, n. 2, p. 295-304, 2022.
- [23] BUSH, L. M.; **Considerações gerais sobre bactérias Gram-positivas**. MD, FACP, Charles E. Schmidt College of Medicine, Florida Atlantic University, 2023.
- [24] ABRANTES, J. A.; NOGUEIRA, J. M. R.; **Resistência bacteriana aos antimicrobianos: uma revisão das principais espécies envolvidas em processos infecciosos**. Fundação Oswaldo Cruz – Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca – ENSP/Fiocruz – DCB – Rio de Janeiro, 2021.
- [25] BESSA, C. V.; LARANJEIRA, B. J.; **Mecanismo de resistência bacteriana em cocos Gram-positivos**. Revista científica UNIFAGOC, vol 1, p. 40-48, 2020.

- [26] ARAÚJO, E. A. et.al; **Aspectos coloidais da adesão de micro-organismos.** Quim. Nova, Vol. 33, No. 9, 1940-1948, 2010.
- [27] GRACIANINOV, K. J. L.; et. al.; **Avaliação da síntese de scaffolds biodegradáveis de poli (ácido láctico) PLA, produzidos por separação de fases termicamente induzida seguida de liofilização.** Anais de Congresso 6ª Edição do Workshop de Biomateriais, Engenharia de Tecidos e Órgãos, p. 275-280, 2019.
- [28] PIRES, A. L. R.; BIERHALZ, A. C. K.; MORAES, A. M.; **BIOMATERIAIS: TIPOS, APLICAÇÕES E MERCADO.** Quim. Nova, Vol. 38, No. 7, 957-971, 2015.
- [29] SOARES, G. A.; **Biomateriais, Fórum de Biotecnologia Biomateriais,** Centro de Gestão de Estudos Estratégico, p. 2, 2005.
- [30] PARIDA, P.; BEHERA A.; MISHRA, S. C.; **Classification of Biomaterials used in Medicine,** International Journal of Advances in Applied Sciences (IJAAS), Vol. 1,p. 125~129, 2012.
- [31] KIRAN, S. K.; RAMAKRISHANA, S.; **An Introduction to Biomaterials Science and Engineering,** cap. 4, p. 83-90, 2021.
- [32] DAVIS, J. R.; **Handbook of Materials for Medical Devices,** ASM, 2003.
- [33] PARK, J. B.; LAKES, R.S.; **Biomaterials: An Introduction,** Springer, New York, 2007.
- [34] CALLISTER, W.D., Jr.; **Materials Science and Engineering: An Introduction,** 7th ed.; John Wiley & Sons, Inc.: New York, NY, USA, 2007; ISBN 978-0-471-73696-7.
- [35] PILATHADKA, S.; VAHALOVÁ, D.; **Contemporary all-ceramic materials, part-1.** Review Article, Fac. Med. Hradec Králové , 50, p.101–104, 2007.
- [36] BACCHI, A.; CESAR, P.F.; **Advances in Ceramics for Dental Applications.** Dent. Clin. North Am, 66, 591–602, 2022.
- [37] BLUM, I.R.; JAGGER, D.C.; WILSON, N.H. **Defective Dental Restorations: To Repair or Not to Repair?** Part 2: All-Ceramics and Porcelain Fused to Metal Systems. p. 150–158, 2011.
- [38] WARRETH, A.; ELKAREIMI, Y. **All-Ceramic Restorations: A Review of the Literature.** Saudi Dent. p. 365–372, 2020.
- [39] MACCAURO, G.; CITTADINI, A.; MAGNANI, G.; SANGIORGI, S.; MURATORI, F.; MANICONE, P.F.; ROSSI IOMMETTI, P.; MAROTTA, D.; CHIERICHINI, A.; RAFFAELLI, L.; et. al. **In Vivo Characterization of Zirconia Toughened Alumina Material: A Comparative Animal Study.** Int. J. Immunopathol. Pharmacol, p. 841–846, 2010.

- [40] VAIANI, L.; BOACCACCIO, A.; UVA, A. E.; PICCININNI, A.; et. al. **Ceramic Materials for Biomedical Applications: An Overview on Properties and Fabrication Processes**. Journal of Functional Biomaterials, 14, p. 2-22, 2020.
- [41] IFTEKHAR, A.; **Biomedical composites**. In: Standard handbook of biomedical engineering and design. McGraw-Hill Companies; cap 12, 2004.
- [42] DOROZHUKIN, S.V.; **Biocomposites and hybrid biomaterials based on calcium orthophosphates**. Biomatter, p.3-56, 2011.
- [43] RAGHAVENDRA, G. M.; VARAPRASAD, K.; JAYARAMUDU, J.; **Biomaterials: Design, Development and Biomedical Applications**. Nanotechnology Applications for Tissue Engineering, cap.4, p.21–44, 2015.
- [44] CANEVAROLO JR, S. V. **Ciência dos Polímeros – Um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 2ª edição., São Paulo: Artliber, 2002.
- [45] GEORGE, A.; SANJAY, M. R.; SRISUK, R.; PARAMESWARANPILLAI, J.; SIENGCHIN, S. **A comprehensive review on Chemical Properties and applications of biopolymers and their composites**. Int. J. Biol. Macromol.154, 329–338, 2020.
- [46] DHANDAYUTHAPANI, B.; YOSHIDA, Y.; MAEKAWA, T.; KUMAR, D. S.; **Polymeric Scaffolds in Tissue Engineering Application: A Review**. Int. J. Polym. Sci. 2011.
- [47] SANFELICE, R. C.; PAVINATTO, A.; CORRÊA, D. S.; **Biopolímeros, processamento e aplicações**. Nanotecnologia aplicada a polímeros. Cap. 3, p. 91-129, 2022.
- [48] FREDI, B.; DORIGATO, A.; **Compatibilization of biopolymer blends: A review**. Advanced Industrial and Engineering Polymer Research, p. 373-404, 2024.
- [49] SALIM, A. S.; BADAWI, N. M.; BEL-MOSLAMY, S. H.; DELBADAWY, A. K.; DAIHOM, D. A.; **Novel long-acting brimonidine tartrate loaded PCL/PVP nanofibers for versatile biomedical applications: fabrication, characterization and antimicrobial evaluation**. Royal Society of Chemistry, RSC Adv. 13, p.14943–14957, 2023.
- [50] SADEGHI-AVALSHAHR, A. R.; NOKHASTEH, S.; MOLAVI, A. M.; MOHAMMAD-POUR, N.; SADEGHI, M. **Tailored PCL scaffolds as skin substitutes using sacrificial PVP fibers and collagen/chitosan blends**. International Journal of Molecular Sciences, v. 21, n. 12, p. 1-16, 2020.
- [51] NGUYEN, H. T. H.; SHORT, G. N.; QI, P.; MILLER, A.; **Copolymerization of lactones and bioaromatics via concurrent ring-opening polymerization/polycondensation**. Green Chemistry, [S.L.], v. 19, n. 8, p. 1877-1888, Royal Society of Chemistry (RSC), 2017.

- [52] BHADRAN, A.; SHAH, T.; BABANYINAH, G. K.; POLARA, H.; TASLIMY, S.; BIEWER, M. C.; STEFAN, M. C. **Recent Advances in Polycaprolactones for Anticancer Drug Delivery**. *Pharmaceutics*, v. 15, n. 4, p. 1000, 2023.
- [53] BARTNIKOWSKI, M.; DARGAVILLE, T.R.; IVANOVSKI, S.; HUTMACHER, D.W. **Degradation mechanisms of polycaprolactone in the context of chemistry, geometry and environment**. *Progress in Polymer Science*, 96, 1–20, 2019.
- [54] KALUZYNSKI, K.; PRETULA, J.; LEWINSKI, P.; KAŻMIERSKI, S.; PENCZEK, S. **Synthesis and Properties of Functionalized Poly(ϵ -caprolactone): Chain Polymerization Followed by Polycondensation in One Pot with Initiator and Catalyst in One Molecule**. *Synthesis and Molecular Structures. Macromolecules*, v. 46, n. 6, p. 2245-2253, 2022.
- [55] SISSON, A. L.; EKINCI, D.; LENDLEIN, A.; **The contemporary role of ϵ -caprolactone chemistry to create advanced polymer architectures**. *Polymers*, v. 54, n. 18, p. 4333-4350, 2013.
- [56] EL YOUSFI, R.; BRAHMI, M.; DALLI, M.; ACHALHI, N.; AZOUGAGH, O.; TAHANI, A.; TOUZANI, R.; EL IDRISSE, A.; **Recent Advances in Nanoparticle Development for Drug Delivery: A Comprehensive Review of Polycaprolactone-Based Multi-Arm Architectures**. *Polymers*, v. 15, n. 2, p. 368, 2023.
- [57] JANMOHAMMADI, M.; NOURBAKHS, M. S. **Electrospun polycaprolactone scaffolds for tissue engineering: a review**. *International Journal Of Polymeric Materials And Polymeric Biomaterials*, [S.L.], v. 68, n. 9, p. 527-539, 2018.
- [58] LEANDRO, J. G. R.; SILVINO, A. C.; **Policaprolactona: poliéster com potencial aplicação na confecção de curativos**. *Revista Foco*, v. 17, n. 11, e6741, 2024.
- [59] FOLTTMANN, H.; QUADIR, A.; **Polyvinylpyrrolidone (PVP)—One of the most widely used excipients in pharmaceuticals: An overview**. *Drug Deliv. Technol.* 8, 22–27, 2008.
- [60] MARCO, P. F. I.; **The Use of Poly(N-vinyl pyrrolidone) in the Delivery of Drugs: A Review**. *Polymers*, p. 1-29, 2020.
- [61] LaFOUNTAIN, J. S.; PRASAD, L. K.; BROUGH, C.; MILLER, D. A.; MCGINITY, J. W.; WILLIAMS III, R. O. **Thermal processing of PVP- and HPMC-based amorphous solid dispersions**. *AAPS PharmSciTech*, v. 17, n. 1, p. 120-132, 2016.
- [62] KURAKULA, M.; RAO, G. S. N.; **Pharmaceutical assessment of polyvinylpyrrolidone (PVP): As excipient from conventional to controlled delivery systems with a spotlight on COVID-19 inhibition**. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, v. 60, p. 102046, 2020.

- [63] TEODORESCU, M.; BERCEA, M.; MORARIU, S.; **Biomaterials of PVA and PVP in medical and pharmaceutical applications: Perspectives and challenges.** *Biotechnology Advances*, 37, p. 109-131, 2019.
- [64] KIM, G. M.; Le, K. H. T.; GIANNITELLI, S. M.; et al. **Electrospinning of PCL/PVP blends for tissue engineering scaffolds.** *J Mater Sci Mater Med Mater Med*, 1425–1442, 2013.
- [65] CHO, S. J.; JUNG, S. M., KANG, M.; et al. **Preparation of hydrophilic PCL nanofiber scaffolds via electrospinning of PCL/PVP-b-PCL block copolymers for enhanced cell biocompatibility.** *Polymer*, p. 95-102, 2015.
- [66] VARSEI, M.; TANHA, N. R.; GORJI, M.; MAZINANI, S.; **Fabrication and optimization of PCL/PVP nanofibers with Lawsonia inermis for antibacterial wound dressings.** *Journal of Industrial Textiles*, v. 29, p. S1403-S1413, 2023.
- [67] FARHAJ, S.; CONWAY, B. R.; GHORI, M. U.; **Nanofibres in drug delivery applications.** *Fibers*, p. 11-21, 2023.
- [68] MARY, L. A.; SENTHILRAM, T.; SUGANYA, S.; NAGARAJAN, L.; VENUGOPAL, J.; RAMAKRISHNA, S.; DEV, V. R. G.; **Centrifugal spun ultrafine fibrous web as a potential drug delivery vehicle.** *eXPRESS Polymer Letters* v.7, n.3 , p. 238–248, 2013.
- [69] CARVALHO, J. V. D.; FURTADO, L. K; PALHETA, H. C. O.; et al. **Compostos bioativos e doenças crônicas não transmissíveis: uma revisão de literatura.** *Ciência e tecnologia de alimentos: Pesquisas e avanços*. Vol. 1, Agroon Food Academy, p. 236-244, 2023.
- [70] SÁ-FILHO, F. G.; et al.; **Plantas medicinais utilizadas na caatinga brasileira e o potencial terapêutico dos metabólitos secundários: uma revisão.** *Research, Society and Development*, v. 10, n. 13, 2021.
- [71] DINCHEVA, I.; BADJAKOV, I.; GALUNSKA, B.; **New insights into the research of bioactive compounds from plant origins with nutraceutical and pharmaceutical potential.** *Plants*, 12, 258, 2023.
- [72] SALEM, O.; SZWAJKOWSKA-MICHAŁEK, L.; PRZYBYLSKA-BALCEREK, A.; SZABLEWSKI, et al. **New insights into bioactive compounds of wild-growing medicinal plants.** *Appl. Sci.*, 13, 13196, 2023.
- [73] BORGES, L. P.; AMORIM, V. A.; **Metabólitos secundários de plantas.** *Revista Agrotecnologia, Ipameri*, v.11, n.1, p.54-67, 2020.
- [74] SCALBERT, A.; JOHNSON, I.; SALTMARSH, M.; **Polyphenols: antioxidants and beyond.** *Am J Clin Nutr* 81: 215 – 217, 2005.
- [75] SILVA, B. B. et al. **Chemical Composition and Botanical Origin of Red Propolis: A New Type of Brazilian Propolis.** *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, v. 5, n. 3, p. 313-316, 2008.

- [76] CABRAL, I. S. R. et al. **Composição fenólica, atividade antibacteriana e antioxidante da própolis vermelha brasileira.** *Química Nova*, v. 32, n. 6, p. 1523-1527, 2009.
- [77] FERREIRA, J. M.; NEGRI, G. **Composição química e atividade biológica das própolis brasileiras: verde e vermelha.** *ACTA Apicola Brasilica-ISSN 2358-2375 - (Pombal -PB)* v. 06, n.1 p.06 -15, 2018.
- [78] MENEZES, H.; **Própolis: uma revisão dos recentes estudos de suas propriedades farmacológicas.** *Arq. Inst. Biol., São Paulo*, v.72, n.3, p.405-411, 2005.
- [79] BISPO, J. W.; MIRANDA, E. O.; ALVINO, V.; ARAUJO, B.; SILVA, D. W.; PORFIRIO, Z. **Atividade antimicrobiana de frações da própolis vermelha de Alagoas, Brasil.** *Ciências Biológicas e da Saúde, Londrina*, v. 33, n. 1, p. 03-10, 2012.
- [80] CASTRO, M. L.; CURY, J. A.; ROSALEN, P. L.; ALENCAR, S. M; IKEGAKI, M.; DUARTE, S.; KOO, H. **Própolis do Sudeste e Nordeste do Brasil: Influência da Sazonalidade na Atividade Antibacteriana e Composição Fenólica.** *Química Nova, São Paulo*, v. 30, n. 7, p. 1512- 1516, 2007.
- [81] MACHADO DE-MELO, A. A., MATSUDA, A. H., FREITAS, A. S., BARTH, O. M., & ALMEIDA-MURADIAN, L. B. **Capacidade antioxidante da própolis.** - *Pesq. Agropec. Trop., Goiânia*, v. 44, n. 3, p. 341-348, 2014.
- [82] DALEPRANE, J. B.; ABDALLA, D. S. **Emerging roles of propolis: Antioxidant, cardioprotective, and antiangiogenic actions.** *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2013.
- [83] BANZATO, Thais P. et al. **Antiproliferative Flavonoid Dimers Isolated from Brazilian Red Propolis.** *Journal of Natural Products*, v. 83, n. 6, p. 1784-1793, 2020.
- [84] RODRIGUESF. M.; BEGNINI, K.; MOURA DE LEON, P. M.; HENRIQUES, J. P.; SEIXAS, F.; COLLARES, T. **Efeito do extrato etanólico de própolis vermelho brasileiro no potencial de migração de células tumorais de bexiga.** XXII Congresso de Iniciação Científica de Pelotas, 2013.
- [85] NOVAK, E. M.; et al. **Antitumoural activity of Brazilian red propolis fraction enriched with xanthochymol and formononetin: An in vitro and in vivo study.** *Journal of functional foods*, vol.11, p. 91–102, 2014.
- [86] BATISTA, C. M.; QUEIROZ, L. A.; ALVES, A. V. F.; REIS, Elisiane C. A.; SANTOS, F. A.; CASTRO, T. N.; LIMA, B. S.; ARAÚJO, A. S.; et al. **Photoprotection and skin irritation effect of hydrogels containing hydroalcoholic extract of red propolis: A natural pathway against skin cancer.** *Heliyon*, vol. 8, 2022.

- [87] PICOLOTTO, A.; PERGHERA, D.; PEREIRA, G. P.; MACHADO, K. G.; BARUD, H. S.; ROESCH-ELY, M.; GONZALEZ, M. H.; TASSO, L.; FIGUEIREDO, J. G.; MOURA, S. **Bacterial cellulose membrane associated with red propolis as phytomodulator: Improved healing effects in experimental models of diabetes mellitus**. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2019.
- [88] CORREA, F. R. S.; SCHANUEL, F. S.; MOURA-NUNES, N.; MONTE-ALTO-COSTA, A.; DALEPRANE, J. B. **Brazilian red propolis improves cutaneous wound healing suppressing inflammation-associated transcription factor NFkB**. Biomedicine & Pharmacotherapy 86, p. 162–171, 2017.
- [89] FULORIA, S. et al. **A comprehensive review on the therapeutic potential of *Curcuma longa* Linn. in relation to its major active constituent curcumin**. Frontiers in Pharmacology, v. 13, 2022.
- [90] CARNEIRO, J. A.; MACEDO, D. S. **Cúrcuma: princípios ativos e seus benefícios para a saúde**. Revista Brasileira de Obesidade, Nutrição e Emagrecimento, [S.l.], v. 14, n. 87, p. 632-641, 2020.
- [91] NASCIMENTO, P. R. S.; SILVA JÚNIOR, E. L.; CASTELO BRANCO, A. C. da S. **Aplicações farmacológicas da *Curcuma longa* L. como planta medicinal: uma revisão**. Research, Society and Development, v. 9, n.10, 2020.
- [92] PÉRET-ALMEIDA, L.; NAGHETINI, C. C.; NUNAN, E. A.; JUNQUEIRA, R. G.; GLÓRIA, M. B. A. **Atividade antimicrobiana *in vitro* do rizoma em pó, dos pigmentos curcuminóides e dos óleos essenciais da *Curcuma longa* L.** Ciência e Agrotecnologia, v. 32, n. 3, p. 875-881, 2008.
- [93] ÁLVAREZ, N. M.; ORTÍZ, A. A.; MARTÍNEZ, C. O. **Actividad antibacteriana *in vitro* de *Curcuma longa* (Zingiberaceae) frente a bacterias nosocomiales en Montería, Colombia**. Revista Biología Tropical, vol. 64, n. 3, p. 1201-1208, 2016.
- [94] BANDEIRA, D. M. et al. **Atividade antimicrobiana da *Curcuma longa* L. sobre *Escherichia coli***. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano. 08, Ed. 04, Vol. 03, p. 05-16, 2023.
- [95] SUETH-SANTIAGO, V.; MENDES-SILVA, G. P.; DECOTÉ-RICARDO, D.; LIMA, M. E. F. **Curcumina, o pó dourado do açafrão-da-terra: introspecções sobre química e atividades biológicas**. Quim. Nova, Vol. 38, No. 4, 538-552, 2015.
- [96] LIRA, A. L., VESOLOSKI, J. F., PERUZZOLO, M., FLÔRES, D. Z., CANSIAN, R. L., & PAROUL, N. **Atividades antioxidante, antimicrobiana e compostos fenólicos de extratos comercial e in natura de *Curcuma longa***. Revista Perspectiva, v. 45, n. 169, p. 107-114, 2021.
- [97] AMINUDDIN, M.; SARGOWO, D.; SARDJONO, T. W.; WIDJIATI, W. ***Curcuma longa* supplementation reduces MDA, TNF- α , and IL-6 levels in a rat model exposed to soot particulates**. Open Veterinary Journal, Vol. 13, p. 11–19, 2023.

- [98] VERMA, R. K.; KUMARI, P.; MAURYA, R. K.; KUMAR, V.; VERMA, R. B.; SINGH, R. K. **Medicinal properties of turmeric (*Curcuma longa* L.): A review.** International Journal of Chemical Studies, p.1354-1357, 2018.
- [99] MERCANTE, L. A.; CORREA, D. S. **Eletrofição: Histórico e Fundamentos.** Eletrofição e nanofibras: Fundamentos e aplicações, cap. 1, p. 1-12, 2023.
- [100] SILVA, C. F.; PAULA, D. D. M.; BORGES, K. B. **Eletrofição aplicada ao desenvolvimento de nanofibras adsorventes visando o aprimoramento de técnicas de (micro)extração em fase sólida.** Quim. Nova, Vol. 44, No. 9, 1137-1150, 2021.
- [101] IBRAHIM, H. M.; KLINGNER, A. **A review on electrospun polymeric nanofibers: Production parameters and potential applications.** Polymer Testing, 2020.
- [102] COSTA, R. G. F.; OLIVEIRA, J. E. de; PAULA, G. F. de; PICCIANI, P. H. de S.; MEDEIROS, E. S. de; RIBEIRO, C.; MATTOSO, L. H. C. **Eletrofição de polímeros em solução. Parte I: Fundamentação teórica.** Polímeros, vol. 22, n. 2, p. 170-177, 2012.
- [103] BAJIA, A.; MAI, Y. W.; WONG, S. C.; ABTAHI, M.; CHEN, P. **Electrospinning of polymer nanofibers: Effects on oriented morphology, structures and tensile properties.** Composites Science and Technology, vol.70, p. 703–718, 2010.
- [104] LI, X., LI, K., ZHANG, S., ZHANG, J., HU, X., LI, Y., & LIU, Y. Recent advances in mechanism, influencing parameters, and dopants of electrospun EMI shielding composites: A review. Appl. Polym. Sci, 2024.
- [105] PELIPENKO, J., KRISTL, J., JANKOVIĆ, B., BAUMGARTNER, S., & KOCBEK, P. **The impact of relative humidity during electrospinning on the morphology and mechanical properties of nanofibers.** International Journal of Pharmaceutics 456, p. 125– 134, 2013.
- [106] BKKAR, M., OLEKHNOVICH, R., KREMLEVA, A., SITNIKOVA, V., KOVACH, Y., ZVERKOV, N., & USPENSKAYA, M. **Influence of electrospinning setup parameters on properties of polymer-perovskite nanofibers.** Polymers, 15, 731, 2023.
- [107] E VRIEZE, S., VAN CAMP, T., NELVIG, A., HAGSTRÖM, B., WESTBROEK, P., & DE CLERCK, K. **The effect of temperature and humidity on electrospinning.** J Mater Sci, vol. 44, p. 1357–1362, 2009.
- [108] SANTOS, D. M.; SILVA, K. T.; CHAGAS, P. A. M.; COSTA, V. P. V.; OLIVEIRA, L. F. R.; CORREA, D. S. **Fibras eletrofiadas na regeneração de tecidos.** Eletrofição e nanofibras: Fundamentos e aplicações. cap. 7, p. 168-94, 2023.
- [109] BORGES, I. L.; SILVA, W. R.; SILVA, M. C. Q.; BARROS, P. S.; SOUZA, F. S.; NASCIMENTO, L. S. **Biotecnologia: Aplicações da engenharia tecidual na**

regeneração de órgãos e tecidos humanos – revisão bibliográfica. Research, Society and Development, v. 12, n. 13, 2023.

[110] BENAYAHU, D. **Mesenchymal stem cell differentiation and usage for biotechnology applications: tissue engineering and food manufacturing.** Biomater Transl. nº 3(1), p. 17-23, 2022.

[111] CAROTENUTO, F.; POLITI, S.; UL HAQ, A.; DE MATTEIS, F.; TAMBURRI, E.; TERRANOVA, M. L.; TEODORI, L.; PASQUO, A.; DI NARDO, P. **From Soft to Hard Biomimetic Materials: Tuning Micro/Nano-Architecture of Scaffolds for Tissue Regeneration.** Micromachines, v. 13, n. 5, p. 780, 2022.

[112] WEI, Q.; WANG, S.; HAN, F.; et al. **Cellular modulation by the mechanical cues from biomaterials for tissue engineering.** Biomaterials Translational, v. 3, n. 1, p. 1-12, 2022.

[113] SANTOS, D. M. et al. **Fibras eletrofiadas como curativos inteligentes para o tratamento de feridas na pele.** Eletrofição e nanofibras: fundamentos e aplicações, cap. 8, p. 195-211, 2023.

[114] SILVA, M. C.; NASCIMENTO, I.; RIBEIRO, V. S.; FOOK, M. V. L. **Avaliação do método de obtenção de scaffolds quitosana/curcumina sobre a estrutura, morfologia e propriedades térmicas.** Revista Matéria, v. 21, n. 3, p. 1-12, 2016.

[115] DO NASCIMENTO, T. G. et al. **Polymeric Nanoparticles of Brazilian Red Propolis Extract: Preparation, Characterization, Antioxidant and Leishmanicidal Activity.** Nanoscale Research Letters, v. 11, n. 1, p. 301, 2016.

[116] WOISKY, R. G., & SALATINO, A. **Analysis of propolis: Some parameters and procedures for chemical quality control.** Journal of Apicultural Research, v. 37(2), p. 99–105, 1998.

[117] SÁ, P. G. S.; GUIMARÃES, A. L.; OLIVEIRA, A. P.; SIQUEIRA FILHO, J. A.; FONTANA, A. P.; DAMASCENO, P. K. F.; BRANCO, C. R. C.; BRANCO, A.; ALMEIDA, J. R. G. **S. Fenóis totais, flavonoides totais e atividade antioxidante de *Selaginella convoluta* (Arn.) Spring (Selaginellaceae).** Rev. Ciênc. Farm. Básica Apl., 33(4), p. 561-566, 2012.

[118] BARRETO, A. L. H.; LOPES, M. T. R.; PEREIRA, F. de M.; SOUZA, B. de A. **Controle de qualidade da própolis.** Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI, 2020.

[119] ARRUDA, R. E. S.; **Efeito da sazonalidade na composição química e atividades antimicrobiana, antioxidante e tripanossomicida de extratos brutos de própolis vermelha de Alagoas.** Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Escola de Enfermagem e Farmácia, Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2018.

[120] NCCLS/CLSI.; **Metodologia dos Testes de Sensibilidade a Agentes Antimicrobianos por Diluição para Bactéria de Crescimento Aeróbico: Norma Aprovada - Sexta Edição.**

[121] CLINICAL AND LABORATORY STANDARDS INSTITUTE (CLSI). Método de referência para testes de diluição em caldo para a determinação da sensibilidade a terapia para bactérias aeróbias: Norma aprovada. Brasília, DF, 2012. p. 1-19. (CLSI Documento MO7A10. v. 28, n. 15).

[122] CASTRO, L. A. S. **Processamento de amostras para microscopia eletrônica de varredura**. Embrapa, 2007.

[123] CARVALHO, B. M.; DIAS, G. C.; MARUOKA, L. M. A.; BOINA, R. F.; AGOSTINI, D. L. S. **Caracterização morfológica de microfibras eletrofiadas de poliestireno**. Colloquium Exactarum, 2023.

[124] American Society for Testing Materials. ASTM D882-10 Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting, 2012.

[125] LUZ, A. P., RIBEIRO, S., & PANDOLFELLI, V. C. **Uso da molhabilidade na investigação do comportamento de corrosão de materiais refratários**. Cerâmica, v. 54 p. 174-183, 2008.

[126] BAČOVSKÁ, R. et al. **Phenyl-methyl phosphazene derivatives for preparation and modification of hydrophobic properties of polymeric nonwoven textiles**. Reactive and Functional Polymers, v.100, p. 53–63, 2016.

[127] LIU, J.; LIU, S.; WU, Q.; GU, Y.; KAN, J.; JIN, C. **Effect of protocatechuic acid incorporation on the physical, mechanical, structural and antioxidant properties of chitosan film**. Food Hydrocolloids, v. 73, p. 46-56, 2017.

[128] CAO, J., PENG, L.-Q., DU, L.-J., ZHANG, Q.-D., & XU, J.-J. **Ultrasound-assisted ionic liquid-based micellar extraction combined with microcrystalline cellulose as sorbent in dispersive microextraction for the determination of phenolic compounds in propolis**. Analytica Chimica Acta, p. 24-32, 2017.

[129] CAVALCANTI DE PONTES, M. L., VASCONCELOS, I. R. A., FORMIGA DE MELO DINIZ, M. de F., & PESSÔA, H. de L. F. **Chemical characterization and pharmacological action of Brazilian red propolis**. Acta Brasiliensis, p. 34-39, 2018.

[130] TRUSHEVA, B.; TRUNKOVA, D.; BANKOVA, V. **Different extraction methods of biologically active components from propolis: a preliminary study**. Chemistry Central Journal, 2007.

[131] PÉREZ, M.; DOMINGUEZ-LÓPEZ, I.; LAMUELA-RAVENTÓS, R. M. **The chemistry behind the Folin–Ciocalteu method for the estimation of (poly)phenol content in food: Total phenolic intake in a Mediterranean dietary pattern**. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2020.

[132] ALVES, E.; KUBOTA, E. H. **Conteúdo de fenólicos, flavonoides totais e atividade antioxidante de amostras de própolis comerciais**. Revista Ciências Farmacêuticas Básica Aplicada., p. 37-41, 2013.

- [133] CABRAL, I. S. R.; OLDONI, T. L. C.; PRADO, A.; BEZERRA, R. M. N.; ALENCAR, S. M.; IKEGAKI, M.; ROSALEN, P. L. **Composição fenólica, atividade antibacteriana e antioxidante da própolis vermelha brasileira.** *Química Nova*, v. 32, n. 6, p. 1523-1527, 2009.
- [134] ALENCAR, S. M.; OLDONI, T. L. C.; CASTRO, M. L.; CABRAL, I. S. R.; COSTA-NETO, C. M.; CURY, J. A.; ROSALEN, P. L.; IKEGAKI, M. **Chemical composition and biological activity of a new type of Brazilian propolis: Red propolis.** *Journal of Ethnopharmacology* 113, 278–283, 2007.
- [135] SOUSA, A. K. A.; ARAÚJO, A. S.; RODRIGUES, M. S. A.; MEDEIROS, W. P.; RODRIGUES, A. A. **Atividade antibacteriana do extrato hidroalcoólico da própolis vermelha sobre *Streptococcus pyogenes*.** *Própolis: Usos biotecnológicos*, cap. 3, p. 21-32, 2021.
- [136] SUETH-SANTIAGO, V.; MENDES-SILVA, G. P.; DECOTÉ-RICARDO, D.; LIMA, M. E. F. **Curcumina, o pó dourado do açafrão-da-terra: introspecções sobre química e atividades biológicas.** *Química Nova*, v. 38, n. 4, p. 538-552, 2015.
- [137] CHANDA, S.; BARAVALIA, Y. **Screening of some plant extracts against some skin diseases caused by oxidative stress and microorganisms.** *African Journal of Biotechnology* Vol. 9(21), p. 3210-3217, 2010.
- [138] MOULICK, S. P. et al. **Nutritional characteristics and antiradical activity of turmeric (*Curcuma longa* L.), beetroot (*Beta vulgaris* L.), and carrot (*Daucus carota* L.) grown in Bangladesh.** *Heliyon*, 2023.
- [139] SILVA, L. A. L.; PEZZINI, B. R.; SOARE, L. **Spectrophotometric determination of the total flavonoid content in *Ocimum basilicum* L. (Lamiaceae) leaves.** *Pharmacogn Mag.* p. 96-101, 2015.
- [140] LUSTOSA, S. R.; GALINDO, A. B.; NUNES, L. C. C.; RANDAU, K. P.; ROLIM NETO, P. J. **Própolis: atualizações sobre a química e a farmacologia.** *Revista Brasileira de Farmacologia*, p. 447-454, 2008.
- [141] CECILIO FILHO, A. B.; SOUZA, R. J.; BRAZ, L. T.; TAVARES, M. **Cúrcuma: planta medicinal, condimentar e de outros usos potenciais.** *Ciência Rural*, v. 30, n. 1, p.171-175, 2000.
- [142] BATISTA, L. L. V. et al. **Estudo comparativo do uso tópico de própolis verde e vermelha na reparação de feridas em ratos.** *Rev. Col. Bras. Cir.* p. 515-520, 2012.
- [143] NUNES, L. C. C. et al. **Variabilidade sazonal dos constituintes da própolis vermelha e bioatividade em *Artemia salina*.** *Revista Brasileira de Farmacologia*, p. 524-529, 2009.

- [144] MINISTÉRIO DA SAÚDE; ANVISA. **Monografia da espécie *Curcuma longa* L. (Curcuma)**. Organização: Ministério da Saúde e ANVISA, 2015.
- [145] FREIRE-GONZÁLEZ, Rosa A.; VISTEL-VIGO, Marlén. **Caracterización fitoquímica de la *Curcuma longa* L.** Rev. Cubana Quím. Vol. 27, p. 9 -18, 2015.
- [146] BRASIL. **Plantas medicinais de interesse ao SUS: *Curcuma longa* L., Zingiberaceae – Açafrão-da-terra**. Ministério da Saúde, 2015.
- [147] SIQUEIRA, A. L. et al. **Estudo da ação antibacteriana do extrato hidroalcoólico de própolis vermelha sobre *Enterococcus faecalis***. Ver. Odontol. UNESP, p. 359-366, 2014.
- [148] ALENCAR, S. M. et al. **Chemical composition and biological activity of a new type of Brazilian propolis: Red propolis**. Journal of Ethnopharmacology, p. 278–283, 2007.
- [149] SANTOS, F. F. et al. **Avaliação da atividade antioxidante e perfil fitoquímico do extrato e borra da própolis vermelha de Alagoas**. Scire Salutis, v.13 - n.1, 2023.
- [150] NASCIMENTO, T. G. et al. **Phytochemical screening, antioxidant and antibacterial activities of some commercial extracts of propolis**. Journal of Apicultural Research, vol. 57, No. 2, p. 246–254, 2018.
- [151] SAHU, R.; SAXENA, J. **Screening of Total Phenolic and Flavonoid Content in Conventional and Non-Conventional Species of Curcuma**. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, v. 2, n. 1, p. 176, 2013.
- [152] MENDONÇA, F. J.; ALVES NEGRÃO, I. D.; PAVANELLO, A. C. L.; GERONIMO, B. C.; MICHALICHEN, K. C.; CARREIRA, C. M.; VENTURINI, D.; SOARES, A. L. **Determinação do teor de compostos fenólicos totais e capacidade antioxidante de cúrcuma orgânica comercial**. Farmacologia Aplicada à Enfermagem: aspectos teóricos e práticos, p. 61-72, 2020.
- [153] TANVIR, E. M.; HOSSEN, M. S.; HOSSAIN, M. F.; AFROZ, R.; GAN, S. H.; KHALIL, M. I.; KARIM, N. **Antioxidant Properties of Popular Turmeric (*Curcuma longa*) Varieties from Bangladesh**. Journal of Food Quality, 2017.
- [154] BARRETO, A. L. H.; LOPES, M. T. R.; PEREIRA, F. de M.; SOUZA, B. de A. **Controle de Qualidade da Própolis**. EMBRAPA, 2020.
- [155] BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Instrução Normativa SDA nº 03, de 19 jan. 2001. Anexo VI - Regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade de própolis. Diário Oficial da União, 2001.
- [156] BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. **Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity**. LWT - Food Science and Technology, v. 28, n. 1, p. 25-30, 1995.

- [157] SANTOS JUNIOR, R. E. dos; HODEL, K. V. S.; MACHADO, B. A. S. **Avaliação do perfil de bioativos e atividade antioxidante do extrato etanólico de própolis vermelha proveniente da Bahia**. VI Seminário de Avaliação de Pesquisa Científica e Tecnológica, SENAI CIMATEC, 2021.
- [158] MACHADO DE-MELO, A. A.; MATSUDA, A. H.; FREITAS, A.S.; BARTH, O. M.; ALMEIDA-MURIADIAN, L. B. **Capacidade antioxidante da própolis**. *Pesq. Agropec. Trop.*, v. 44, n. 3, p. 341-348, 2014.
- [159] BARTH, O. M. et al. **Botanical origin and Artepillin-C content of Brazilian propolis samples**. *Grana, Stockholm*, v. 52, n. 2, p. 1-7, 2013.
- [160] SOUZA, Â. V.; VIEIRA, M. R. S.; BRAZ, F. F. **Correlações entre compostos fenólicos e atividade antioxidante em casca e polpa de variedades de uva de mesa**. *Braz. J. Food Technol.*, v. 21, 2018.
- [161] TOWNSEND, J. R.; KIRBY, T. O.; SAPP, P. A.; GONZALEZ, A. M.; MARSHALL, T. M.; ESPOSITO, R. **Nutrient synergy: definition, evidence, and future directions**. *Frontiers in Nutrition*, 2023.
- [162] PRZYBYŁEK, I.; KARPIŃSKI, T. M. **Antibacterial properties of propolis**. *Molecules*, 24, 2047, 2019.
- [163] BANKOVA, V. et al. **Chemical composition and antibacterial activity of Brazilian propolis**. *Z Naturforsch C, Tübingen*, v.50, n.3-4, p.167–172, 1995.
- [164] MARCUCCI, M. C.; FERRES, F.; GARCÍA-VIGUERA, C.; BANKOVA, V. **Phenolic compounds from Brazilian propolis with pharmacological activities**. *Journal of Ethnopharmacology*, v. 74, n. 2, p. 105-112, 2001.
- [165] OLIVEIRA, R. D.; ARAÚJO, C.; ALMEIDA-AGUIAR, C. **In vitro antimicrobial potential of Portuguese propolis extracts from Gerês against pathogenic microorganisms**. *Antibiotics, Basel*, v. 13, n. 7, p. 655, 2024.
- [166] ZHANG, W.; ESCALADA, M. G.; WU, D.; YUAN, W.; YAN, S.; QI, S.; XUE, X.; WANG, K.; WU, L. **Antibacterial activity of Chinese red propolis against *Staphylococcus aureus* and MRSA**. *Molecules, Basel*, v. 27, n. 5, p. 1693, 2022.
- [167] ZURSCHIMITTEM, F. M.; JANSEN, C.; FERNANDES, K.; GANDRA, E. A.; ZAMBIAZI, R. C. **Própolis: fitoquímicos e atividade antibacteriana**. Congresso de Iniciação Científica (CIC), 2016.
- [168] YOSHIMASU, Y. et al. **Rapid bactericidal action of propolis against *Porphyromonas gingivalis***. *Journal of Dental Research*, [S.l.], v. 97, n. 10, p. 1144–1151, 2018.
- [169] VADILLO-RODRÍGUEZ, V. et al. **A physico-chemical study of the interaction of ethanolic extracts of propolis with bacterial cells**. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, [S.l.], v. 200, p. 111571, 2021.

- [170] ALENCAR, S. M. *et al.* **Chemical composition and biological activity of a new type of Brazilian propolis: Red propolis.** *Journal of Ethnopharmacology*, [S.I.], v. 113, n. 2, p. 278–283, 2007.
- [171] PAZIN, W. M.; RUIZ, G. C. M.; OLIVEIRA JÚNIOR, O. N. de; CONSTANTINO, C. J. L. **Interaction of Artepillin C with model membranes: Effects of pH and ionic strength.** *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes*, v. 1861, n. 2, p. 410–417, 1 fev. 2019.
- [172] PAZIN, W. M.; SANTOS, S. N.; QUEIROZ, S. C. N.; BAGATOLLI, L. A.; SOARES, A. E. E.; MELO, I. S. de; ITO, A. S. **Bioactivity and action mechanism of green propolis against *Pythium aphanidermatum*.** *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 91, n. 2, p. e20180598, 2019.
- [173] PAZIN, W. M.; MÔNACO, L. da M.; SOARES, A. E. E.; MIGUEL, F. G.; BERRETTA, A. A.; ITO, A. S. **Antioxidant activities of three stingless bee propolis and green propolis types.** *Journal of Apicultural Research*, v. 56, n. 1, p. 27–38, 2017.
- [174] ODO, E. O.; IKWUEGBU, J. A.; OBEAGU, E. I.; CHIBUEZE, S. A.; OCHIAKA, R. E. **Analysis of the antibacterial effects of turmeric on particular bacteria.** *Medicine Journal*, 2023.
- [175] SASIDHARAN, N. K.; SREEKALA, S. R.; JACOB, J.; NAMBISAN, B. **In Vitro Synergistic Effect of Curcumin in Combination with Third Generation Cephalosporins against Bacteria Associated with Infectious Diarrhea.** *BioMed Research International*, 2014.
- [176] ADAMCZAK, A.; OŻAROWSKI, M.; KARPIŃSKI, T. M. **Curcumin, a Natural Antimicrobial Agent with Strain-Specific Activity.** *Pharmaceuticals*, 2020.
- [177] KARPIŃSKI, T. M.; ADAMCZAK, A. **Fucoxanthin—An Antibacterial Carotenoid.** *Antioxidants*, 2019.
- [178] BREIJYEH, Z.; JUBEH, B.; KARAMAN, R. **Resistance of Gram-Negative Bacteria to Current Antibacterial Agents and Approaches to Resolve It.** *Molecules*, 2020.
- [179] LUZENTI, Andréia Marincek. **Desenvolvimento e caracterização de nanopartículas poliméricas contendo extratos de própolis e avaliação de suas atividades biológicas em células de câncer de próstata.** Dissertação (Mestrado em Medicamentos e Cosméticos) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2022.
- [180] SHABANA, Y. A. *et al.* **Green synthesis of Ag/V₂O₅ and Ag/V₂O₅-curdlan nanocomposites from *Sargassum latifolium* extract for enhanced antimicrobial and antioxidant activities.** *International Journal of Biological Macromolecules*, [S.I.], v. 301, p. 140472, 2025.

- [181] AMAREGOUDA, Y. A.; KAMANNA, K.; GASTI, T. **Fabrication of intelligent/active films based on chitosan/polyvinyl alcohol matrices containing *Jacaranda cuspidifolia* anthocyanin for real-time monitoring of fish freshness.** International Journal of Biological Macromolecules, [S.l.], v. 218, p. 799–815, 2022.
- [182] MARQUES, M.; VENTURELLI, R. B.; SOUZA, A. A. U.; IMMICH, A. P. S. **Estudo na obtenção de não tecidos de poliamida através da eletrofição com propriedades antichamas.** XI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 2015.
- [183] ANAYA, J. M.; DIAS, M. L.; THIRÉ, R. M. S. M. **Avaliação morfológica de fibras eletrofiadas de policaprolactona em função do tipo de solvente.** Revista Matéria, v.24, n.3, 2019.
- [184] MERCANTE, L. A.; ANDRE, R. S.; MACEDO, J. B.; PAVINATTO, A.; CORREA, D. S. **Nanofibras eletrofiadas e suas aplicações: avanços na última década.** Quim. Nova, Vol. 44, No. 6, 717-736, 2021.
- [185] ALVES, K. G. B. **Preparação e caracterização de nanofibras de polianilina/argila montmorilonita.** Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pernambuco, Recife, 2018.
- [186] BHARDWAJ, N.; KUNDU, S. C. **Electrospinning: A fascinating fiber fabrication technique.** Biotechnology Advances, v. 28, n. 3, p. 325-347, 2010.
- [187] SEERAM, R. et al. **An introduction to electrospinning and nanofibers.** World Scientific, 2005.
- [188] KOSKI, A.; YIM, K.; SHIVKUMAR, S. **Effect of molecular weight on fibrous PVA produced by electrospinning.** Materials Letters, v. 58, p. 493–497, 2004.
- [189] SERAFIM, A. L.; VIEIRA, E. L.; LINDEMANN, I. L. (2015). **Importância da água no organismo humano.** VIDYA, 24(41), 11, 2004.
- [190] SIQUEIRA, L.; PASSADOR, F. R.; COSTA, M. M.; LOBO, A. O.; SOUSA, E. **Influence of the addition of β -TCP on the morphology, thermal properties and cell viability of poly (lactic acid) fibers obtained by electrospinning.** Materials Science and Engineering, p. 135–143, 2015.
- [191] RODRIGUES, B. V. M.; ANDRE, R. S.; MERCANTE, L. A.; CORREA, D. S. **Nanofibras poliméricas eletrofiadas.** Nanotecnologia aplicada a polímeros. Cap. 6, p. 197-231, 2022.
- [192] GLASS, P.; CHUNG, H.; WASHBURN, N. R.; SITTI, M. **Enhanced Reversible Adhesion of Dopamine Methacrylamide-Coated Elastomer Microfibrillar Structures under Wet Conditions.** ACS Applied Materials & Interfaces, v. 2, n. 11, p. 3542-3550, 2010.
- [193] TIAN, N.; WEI, J.; ZHANG, J. **Design of Waterborne Superhydrophobic Fabrics with High Impalement Resistance and Stretching Stability by**

Constructing Elastic Reconfigurable Micro-/Micro-/Nanostructures. ACS Applied Materials & Interfaces, Langmuir, 39, 18, 6556–6567, 2023.

[194] LAURO LIMA, L.; BIERHALZ, A. C. K.; MORAES, A. M. **Influence of the chemical composition and structure design of electrospun matrices on the release kinetics of Aloe vera extract rich in aloin.** Polymer Degradation and Stability, 2020.

[195] LYU, J. S.; LEE, J.; HAN, J. **Development of a biodegradable polycaprolactone film incorporated with an antimicrobial agent via an extrusion process.** Scientific Reports, v. 9, n. 1, p. 1–11, 2019.

[196] ELZEIN, T.; NASSER-EDDINE, M.; DELAITE, C.; BISTAC, S.; DUMAS, P. **FTIR study of polycaprolactone chain organization at interfaces.** Journal of Colloid and Interface Science 273, p. 381–387, 2004.

[197] MIRELES, L. K.; WU, M. R.; SAADEH, N.; YAHIA, L. H.; SACHER, E. **Physicochemical characterization of polyvinyl pyrrolidone: A tale of two polyvinyl pyrrolidones.** ACS Omega, v. 5, p. 30461–30467, 2020.

[198] KHARAZMI, S.; **Structural, Optical, and Mechanical properties of Polyvinylpyrrolidone/Graphene oxide microfibers for Optoelectrical Applications.** Nanochem Res, 9(4): 316-322, Autumns, 2024.

[199] RÖWEKAMP, L.; MOCH, K.; SEREN, M.; MÜNZNER, P.; BÖHMER, R.; GAINARU, C. **Relaxation and diffusion of an ionic plasticizer in amorphous poly(vinylpyrrolidone).** Physical Chemistry Chemical Physics, v. 26, n. 17, p. 13219-13229, 2024.

[200] OLIVEIRA, L. F. A. M.; AZEVEDO, L. V. T.; NASCIMENTO, T. G.; ALMEIDA, L. M.; CALUMBY, R. J. N.; NUNES, A. M.; MAGALHÃES, L. M. T.; SILVA, E. J. **Antioxidant and antimicrobial activities of red propolis embedded mesoporous silica nanoparticles.** Journal of Applied Pharmaceutical Science, v. 10, n. 5, p. 131-139, 2020.

[201] NASCIMENTO, T. G.; REDONDO, G. D. P.; ABREU, C. T. A.; SILVA, V. C.; LIRA, G. M.; GRILLO, L. A. M.; CONCEIÇÃO, M. M.; FREITAS, J. D.; SOUZA, J. S.; ARAÚJO JÚNIOR, J. X.; BASÍLIO-JÚNIOR, I. D. **Modified release microcapsules loaded with red propolis extract obtained by spray-dryer technique: Phytochemical, thermal and physicochemical characterizations.** Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, v. 145, p. 1261-1272, 2021.

[202] MAROOSHES, M.; PASSEL, V. A. **The infrared spectra of aromatic compounds I. The out-of-plane C-H bending vibrations in the region 625-900 cm⁻¹.** Spectrochimica Acta, v. 7, p. 14-29, 1955.

[203] MOGHADDAM, A. B.; SHIRVANI, B.; AROON, M. A.; NAZARI, T. **Physico-chemical properties of hybrid electrospun nanofibers containing polyvinylpyrrolidone (PVP), propolis and aloe vera.** Journal of Nanoscience and Nanotechnology, v. 18, n. 7, p. 4737-4745, 2018.

- [204] RAHMA, A.; MUNIR, M. M.; KHAIRURRIJAL; PRASETYO, A.; SUENDO, V.; RACHMAWATI, H. **Intermolecular interactions and the release pattern of electrospun curcumin-polyvinyl(pyrrolidone) fiber**. Biological and Pharmaceutical Bulletin, v. 39, n. 2, p. 163-173, 2016.
- [205] SAFIE, N. E.; LUDIN, N. A.; SU'AIT, M. S.; HAMID, N. H.; SEPEAI, S.; IBRAHIM, M. A.; TERIDI, M. A. M. **Preliminary study of natural pigments photochemical properties of *Curcuma longa* L. and *Lawsonia inermis* L. as TiO₂ photoelectrode sensitizer**. Malaysian Journal of Analytical Sciences, v. 19, p. 1243 – 1249, 2015.
- [206] SAMUEL, J.; KAISAN, M. U.; SANUSI, Y. S.; NARAYAN, S.; MENACER, B.; VALENZUELA, M.; SALAS, A.; OÑATE, A.; MAHROOGI, F. O.; TUNINETTI, V. **Assessing antioxidant and pour point depressant capacity of turmeric rhizome extract in biolubricants**. Lubricants, v. 12, n. 8, p. 282, 2024.
- [207] BHULLAR, S. K.; KAYA, B.; JUN, M. B. G. **Development of bioactive packaging structure using melt electrospinning**. Journal of Polymers and the Environment, v. 23, p. 416–423, 2015.
- [208] TSIOPTSIAS, C.; ZACHARIS, A. K. **Simulation and Experimental Study of the Isothermal Thermogravimetric Analysis and the Apparent Alterations of the Thermal Stability of Composite Polymers**. Polymers, 16, 1454, 2024.
- [209] MANOEL, A. F.; CLARO, P. I. C.; MATTOSO, L. H. C.; MARCONCINI, J. M.; MANTOVANI, G. L. **Estudo das propriedades térmicas de blendas de TPS/PCL para uso em nanocompósitos poliméricos**. Embrapa Instrumentação, 2017.
- [210] CONSENDEY, M. E.; CELESTINO, G. de G.; SHIGUIHARA, A. L.; JUNIOR, J. A. **Preparo e caracterização de blendas de PVP/PAADDA**. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 10, p. 18, 2021.
- [211] ESHRAGHI, S.; DAS, S. **Mechanical and microstructural properties of polycaprolactone scaffolds with one-dimensional, two-dimensional, and three-dimensional orthogonally oriented porous architectures produced by selective laser sintering**. Acta Biomaterialia, p. 2467–2476, 2010.
- [212] KURAKULA, M.; KOTESWARA RAO, G.S.N. **Pharmaceutical assessment of polyvinylpyrrolidone (PVP): As excipient from conventional to controlled delivery systems with a spotlight on COVID-19 inhibition**. Journal of Drug Delivery Science and Technology, v. 59, p. 101898, 2020.
- [213] ROSSETO, H. C.; TOLEDO, L. A. S. de; FERREIRA, A. J. V.; SANTOS, R. S. dos; CASTRO HOSHINO, L. V. de; CABRAL JÚNIOR, B. P.; BRAGA, G.; GIROTTI, E. M.; NAKAMURA, T. U.; BAESSO, M. L.; BRUSCHI, M. L. **Effect of propolis and polymer content on mechanical, bioadhesive and biological properties of nanostructured film forming platforms for topical drug delivery**. Journal of Molecular Liquids 395, 123878, 2024.

- [214] SANT'ANA, P. L.; BORTOLETO, J. R.; DURRANT, S. F. **Contact Angle and Wettability of Commercial Polymers after Plasma Treatment.** London Journal of Engineering Research, v. 22, 2022.
- [215] LI, Y.; LU, M.; WU, C. **PVP VA64 as a novel release-modifier for sustained-release mini-matrices prepared via hot melt extrusion.** Drug Deliv. and Transl. Res. p. 1670–1678, 2018.
- [216] HOSSAIN, S.; YOUSAF, M.; LIU, Y.; CHANG, D.; ZHOU, X. **An overview of the evidence and mechanism of drug–herb interactions between propolis and pharmaceutical drugs.** Frontiers in Pharmacology, vol. 13, 2022.
- [217] WIECZOREK, P. P.; HUDZ, N.; YEZERSKA, O.; HORČINOVÁ-SEDLÁČKOVÁ, V.; SHANAIDA, M.; KORYTNIUK, O.; JASICKA-MISIAK, I. **Chemical variability and pharmacological potential of propolis as a source for the development of new pharmaceutical products.** Molecules, 2022.