

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA  
ENGENHARIA QUÍMICA**

**LUANA VAZ THOLOZAN**

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CURATIVO BIOPOLIMÉRICO  
IMPREGNADO COM CARVÃO ATIVADO E EXTRATO NATURAL DE NOZ-PECÃ**

**Bagé  
2023**

**LUANA VAZ THOLOZAN**

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CURATIVO BIOPOLIMÉRICO  
IMPREGNADO COM CARVÃO ATIVADO E EXTRATO NATURAL DE NOZ-PECÃ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Gabriela Silveira da Rosa

Coorientador: MSc. Alaor Valério Filho

**Bagé  
2023**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos  
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do  
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

T451p Tholozan, Luana Vaz

Produção e caracterização de curativo  
biopolimérico impregnado com carvão ativado e  
extrato natural de noz-pecã / Luana Vaz Tholozan.  
69 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) --  
Universidade Federal do Pampa, ENGENHARIA QUÍMICA,  
2023.

"Orientação: Gabriela Silveira da Rosa".

1. Membranas biopoliméricas. 2. Gelatina. 3.  
Extração por maceração. 4. Atividade antioxidante .  
5. Propriedades mecânicas. I. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal do Pampa

**LUANA VAZ THOLOZAN**

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CURATIVO BIOPOLIMÉRICO IMPREGNADO  
COM CARVÃO ATIVADO E EXTRATO NATURAL DE NOZ-PECÃ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Química.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em 06 de fevereiro de 2023.

Banca examinadora:

---

Profa. Dra. Gabriela Silveira da Rosa  
Orientadora  
(UNIPAMPA)

---

Msc. Alaor Valério Filho  
Coorientador  
(UFPEl)

---

Profª. Dra. Caroline Costa de Moraes  
(UNIPAMPA)

---

Profª. Dra. Andréa Cristiane Krause Bierhalz  
(UFSC)  
Referência: Processo nº 23100.002091/

---



Assinado eletronicamente por **CAROLINE COSTA MORAES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 10/02/2023, às 11:11, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.

---



Assinado eletronicamente por **ALAOR VALERIO FILHO, Usuário Externo**, em 10/02/2023, às 11:25, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.

---



Assinado eletronicamente por **GABRIELA SILVEIRA DA ROSA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 10/02/2023, às 13:12, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.

---



Assinado eletronicamente por **Andrea Cristiane Krause Bierhalz, Usuário Externo**, em 11/02/2023, às 20:25, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1054177** e o código CRC **04D108B8**.

---

Referência: Processo nº 23100.002091/2023-90 SEI nº 1054177

## AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a minha família que, de diversas formas, me forneceu suporte e amparo durante os momentos de dificuldade durante essa jornada.

A minha namorada, por me apoiar, incentivar, compreender as ausências e comemorar comigo cada vitória das etapas vencidas nesse processo.

Aos meus queridos colegas que trilharam essa caminhada junto comigo – em especial aos integrantes do grupo FAICaO: Andrielly, Gabriel, Larah e Victor – que me ajudaram a compreender o sentido do trabalho em grupo e também me mostraram a importância do companheirismo na execução das tarefas. Vencemos juntos!

Aos colegas integrantes do Grupo de Pesquisa em Engenharia de Processos em Sistemas Particulados (GPEPSP), que sempre estiveram dispostos a ajudar, trocar ideias e auxiliar de todas as formas possíveis. Tenho orgulho de ter participado desse espaço onde aprendi a importância da interdisciplinaridade dentro da pesquisa e, principalmente, que pesquisa não se faz de forma individual, mas sim coletiva.

A minha orientadora, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Gabriela Silveira da Rosa, que me acolheu desde o início da graduação e me guiou com maestria para que eu pudesse chegar onde cheguei. Ao meu coorientador e amigo MSc. Alair Valério Filho, pelos ensinamentos e auxílios ao longo de todos os trabalhos que desenvolvemos juntos, mas também pelo companheirismo e amizade.

A todos os professores da UNIPAMPA, sempre dispostos a auxiliar, aconselhar e ensinar. Aos técnicos do campus Bagé, por proporcionarem um ambiente organizado e equipado, sempre auxiliando no que fosse preciso. Aos demais funcionários da UNIPAMPA, que nos permitem frequentar um ambiente saudável e acolhedor.

Aos professores que passaram pela minha vida desde a educação infantil e contribuíram para construir a base que permitiu com que eu trilhasse essa trajetória. Essas pessoas me fizeram acreditar na importância da educação na vida das pessoas.

A UNIPAMPA, universidade pública, gratuita e de qualidade, por proporcionar a mim e a tantas pessoas o acesso ao ensino superior.

“Olhava complacente para todos os desastres anteriores. E percebia que me humanizava.”

- Patrícia Galvão

## RESUMO

Os curativos cutâneos são itens de suma importância na vida das pessoas, sendo responsáveis pela aceleração do processo de cicatrização, prevenindo a ocorrência inflamações e cicatrizes principalmente quando contam com a presença de compostos bioativos em sua composição, aumentando sua eficácia. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi desenvolver um curativo biopolimérico a partir da gelatina contendo carvão ativado (CA) impregnado com extrato da casca de noz-pecã, atribuindo propriedades antioxidantes ao material. A metodologia experimental consistiu no desenvolvimento dos extratos pelo método de maceração e caracterização dos mesmos quanto a presença de compostos fenólicos e propriedades antioxidantes; impregnação do CA com os compostos bioativos presentes no extrato, obtendo o carvão ativado impregnado (IAC); desenvolvimento das membranas contendo gelatina (MG), gelatina e CA (MAC), gelatina e extrato (ME) e gelatina e CAI (MIAC); finalmente, as membranas produzidas foram caracterizadas quanto a espessura, propriedades mecânicas, permeabilidade ao vapor de água (PVA) e taxa de transmissão de vapor de água (TTVP), intumescimento, solubilidade, espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) e análise termogravimétrica (TGA). Os resultados obtidos na caracterização dos extratos foram de 1483,04 mgGAE g<sup>-1</sup> para compostos fenólicos, 5515,61 µMFe g<sup>-1</sup> e 38,94% para atividade antioxidantes pelas metodologias de FRAP e DPPH, respectivamente. Quanto as propriedades de espessura, alongamento na ruptura e tensão máxima foram obtidos os valores de 0,44 mm, 80,76 % e 0,38 MPa para MG, 0,47 mm, 93,91 % e 0,07 MPa para MAC, 0,47 mm, 85,86 % e 0,09 MPa para MIAC, e 0,35 mm, 100,85 % e 0,08 MPa para ME, respectivamente. Os valores de PVA e TTVP obtidos foram 2,36 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> Pa<sup>-1</sup> e 187,58 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> para MG; 2,60 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> Pa<sup>-1</sup> e 194,18 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> para MAC; 2,52 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> Pa<sup>-1</sup> e 188,43 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> para MIAC; e 2,15 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> Pa<sup>-1</sup> e 210,29 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> para ME. A solubilidade das membranas variou entre 87,03 % para MG, 84,96 % para MAC, 84,36 % para MIAC e 85,65 % para ME. O maior índice de intumescimento foi obtido para a membrana ME após 24 h, no valor de 251,59 %. A análise de FTIR indicou a presença de grupos referentes a gelatina, glicerol e compostos fenólicos do extrato. A análise de TGA indicou que os aditivos aumentaram a estabilidade térmica dos materiais. De acordo com os resultados obtidos, pode-se confirmar que o extrato do resíduo da casca de noz-pecã apresenta alto teor de



compostos fenólicos e capacidade antioxidante, propriedades que auxiliam no processo de cicatrização. Além disso, os materiais produzidos apresentam características físico-químicas necessárias para a aplicação como curativo. Sendo assim, é possível dar seguimento ao trabalho futuramente visando a análise de outras propriedades das membranas.

Palavras-chave: Gelatina. Tratamento de feridas. Compostos bioativos. Propriedades antioxidantes.

## ABSTRACT

Skin dressings are responsible for accelerating the healing process, preventing inflammation and scarring, especially when they have bioactive compounds in their composition, increasing this prevention. In this sense, the objective of the present work was to develop a biopolymeric dressing from gelatin containing activated carbon (AC) impregnated with pecan nut shell extract to add antioxidant properties to the material. The experimental methodology consisted of the development of the extracts by the maceration method and their characterization regarding the presence of phenolic compounds and antioxidant properties; impregnation of AC with bioactive compounds present in the extract, obtaining impregnated activated carbon (IAC); development of membranes containing gelatin (MG), gelatin and CA (MAC), gelatin and extract (ME) and gelatin and IAC (MIAC); finally, the produced membranes were characterized regarding thickness, mechanical properties, water vapor permeability (WVP) and water vapor transmission rate (WVTR), swelling, solubility, Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and thermal gravimetric analysis (TGA). The results obtained in the characterization of the extracts were 1483,04 mgGAE g<sup>-1</sup> for phenolic compounds, 5515,61 μMFe g<sup>-1</sup>, and 38,94 % for antioxidant activity by the FRAP and DPPH methodologies, respectively. The values obtained for thickness, elongation at break, and tensile strength were 0,44 mm, 80,76 %, and 0,38 MPa for MG, 0,47 mm, 93,91 %, and 0,07 MPa for MAC, 0,47 mm, 85,86 % and 0,09 MPa for MIAC, and 0,35 mm, 100,85 % and 0,08 MPa for ME, respectively. The WVP and WVTR values obtained were 2,36 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> Pa<sup>-1</sup> and 187,58 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> for MG; 2,60 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> Pa<sup>-1</sup> and 194,18 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> for MAC; 2,52 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> Pa<sup>-1</sup> and 188,43 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> for MIAC; and 2,15 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> Pa<sup>-1</sup> and 210,29 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> for ME. The solubility of the membranes varied between 87,03% for MG, 84,96% for MAC, 84,36% for MIAC, and 85,65% for ME. The highest swelling index was obtained for the ME membrane after 24 h, with a value of 251.59 %. The FTIR analysis indicated the presence of groups related to gelatin, glycerol, and phenolic compounds in the extract. The TGA analysis indicated that the additives increased the thermal stability of the materials. According to the results obtained, it can be confirmed that the pecan nut shell extract has a high content of phenolic compounds and antioxidant capacity, which can help in the healing process. In addition, the materials produced have physical and chemical characteristics necessary for the

application as a dressing. Therefore, further studies are indicated to analyze other properties of the membranes.

Keywords: Gelatin. Wound treatment. Bioactive compounds. Antioxidant Properties.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pele e tecido subcutâneo .....	18
Figura 2 – Etapas de cicatrização da pele .....	20
Figura 3 - Diferentes tipos de curativos: (a) hidrocolóides, (b) hidrogéis, (c) géis e (d) filmes .....	22
Figura 4– Formação da gelatina a partir do colágeno .....	25
Figura 5 – Ação do plastificante glicerol em membranas de gelatina.....	28
Figura 6 – Estrutura do CA com os diferentes tamanhos de poros .....	30
Figura 7 – Obtenção de CA a partir de diferentes tratamentos .....	31
Figura 8 – Ação do CA em curativos .....	32
Figura 9 – Nogueira-pecã e o fruto noz-pecã.....	35

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Curativos poliméricos comerciais .....	21
Quadro 2 – Curativos desenvolvidos a partir de polímeros naturais .....	23
Quadro 3 – Estudos referentes ao uso de gelatina em curativos .....	26
Quadro 4 – Compostos presentes do extrato na noz-pecã .....	36

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABTS – 2,2'-azino-bis-(3- etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)

ASTM – *American Society for Testing and Materials*

CA – Carvão Ativado

DPPH – 2,2-difenil-1-picrilhidrazil

FRAP – *Ferric Reducing Antioxidant Power*

FTIR – Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier

GPEPSP – Grupo de Pesquisa Engenharia de Processos e Sistemas Particulados

TGA – Análise termogravimétrica

UNIPAMPA – Universidade Federal do Pampa

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>16</b>
2.1 Objetivo geral.....	16
2.2 Objetivos específicos.....	16
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>17</b>
3.1 Pele.....	17
3.1.1 Processo de cicatrização de feridas na pele.....	18
3.2 Curativos.....	19
3.2.1 Curativos a base de polímeros naturais.....	20
3.3 Gelatina.....	23
3.3.1 Membranas de gelatina aplicadas como curativo.....	25
3.4 Plastificantes.....	27
3.5 Carvão ativado.....	29
3.5.1 Carvão ativado no tratamento de feridas.....	31
3.6 Noz-pecã ( <i>Carya illinoensis</i> K. Koch).....	32
3.7 Compostos bioativos presentes na casca de noz-pecã.....	34
<b>4 METODOLOGIA.....</b>	<b>36</b>
4.1 Artigo 1.....	36
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>55</b>
<b>6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>56</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>57</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As feridas cutâneas são originadas por lesões que atingem a integridade da pele, sendo usualmente causadas por agentes externos que provocam um rompimento do tecido epitelial (ALZAREA *et al.*, 2022; REZVANI GHOMI *et al.*, 2019). Esse tipo de lesão dérmica representa, aproximadamente, 2% dos fatores responsáveis por afetar a qualidade de vida da população, além corresponder a 4% dos gastos para o sistema de saúde (DO NASCIMENTO *et al.*, 2020). A cicatrização de feridas é um processo biológico que ocorre espontaneamente em etapas, sendo elas: hemostase, inflamação, proliferação e remodelamento (ZARRINTAJ *et al.*, 2017). Apesar de ser um processo natural, a cicatrização acontece de forma lenta, podendo causar infecções pela ação de micro-organismos, formar cicatrizes e, até mesmo, comprometer funções do tecido epitelial (ALZAREA *et al.*, 2022; RIHAYAT *et al.*, 2019). Uma alternativa para acelerar o processo de cicatrização de feridas e evitar consequências indesejáveis desse processo é o uso de curativos.

Os curativos aceleram o processo de cicatrização através da criação de um ambiente com umidade controlada, possibilitando a troca de nutrientes e prevenindo a infecção causada pela ação de micro-organismos (LI *et al.*, 2019b). Usualmente esses dispositivos são produzidos a partir de polímeros e incrementados com compostos químicos que auxiliam no processo de cicatrização (DO NASCIMENTO *et al.*, 2020). A função do polímero na cicatrização ocorre em função de características físicas e do material, responsáveis por propiciar com mais facilidade um ambiente adequado para o processo de cicatrização (FAHIMIRAD; AJALLOUEIAN, 2019). Dentre os polímeros utilizados como matéria-prima para a formulação de curativos, pode-se citar a gelatina, uma proteína derivada da hidrólise do colágeno (GUERRERO *et al.*, 2011). Suas características mais relevantes são a biocompatibilidade com tecidos humanos, flexibilidade e estabilidade (MONROY *et al.*, 2018). Devido às suas propriedades, muitos estudos vêm utilizando a gelatina no desenvolvimento de curativos poliméricos (DO NASCIMENTO *et al.*, 2020; HUBNER *et al.*, 2020; KAVOOSI; DADFAR; PURFARD, 2013).

Do Nascimento *et al.* (2020), Hubner *et al.* (2020) e Kavooosi, Dadfar e Purfard (2013) reportam o uso de diferentes compostos como forma de atribuir propriedades bioativas aos curativos. Ao serem liberados, esses aditivos evitam a inflamação e diminuem o tempo de cicatrização (DE ALMEIDA *et al.*, 2013). Alguns estudos buscam formas de controlar a liberação desses compostos e tornar mais efetiva sua ação



durante a cicatrização (HUBNER *et al.*, 2020; THU; ZULFAKAR; NG, 2012). Para que ocorra a liberação controlada, usualmente são utilizadas membranas porosas ou, até mesmo, adicionados aditivos de alta porosidade que atuam como transportadores desses compostos (HUBNER *et al.*, 2020).

O carvão ativado (CA) é um material poroso utilizado em curativos devido a sua capacidade de adsorver exsudatos e gases liberados durante o processo de cicatrização (KIM *et al.*, 2018). Alguns curativos comerciais apresentam o uso de CA com adição de íons de prata como agente antibacteriano, promovendo uma liberação controlada desse composto. Com o mesmo intuito, Keviyashri *et al.* (2021) investigaram o uso de CA como potencial aditivo e transportador de queratina em curativo cutâneo, obtendo resultados promissores. Assim como a queratina, outros compostos naturais com propriedades bioativas podem se mostrar benéficos para a cicatrização, como por exemplo, o extrato da casca de noz-pecã.

A casca representa cerca de 50% da massa da noz-pecã, sendo apenas uma parte comercializada como chá e o restante tratado como resíduo (VILLASANTE; MARTIN-LUJANO; ALMAJANO, 2020). Esse subproduto apresenta elevada atividade antioxidante, atribuída pelo alto teor de compostos fenólicos presentes em sua composição (RIBEIRO *et al.*, 2017b). Devido a isso, o extrato da casca de noz-pecã vêm sendo muito utilizado como aditivo em membranas poliméricas, atribuindo características bioativas às mesmas, além de atribuir valor ao subproduto (LEON-BEJARANO *et al.*, 2020).

Nesse sentido, o Grupo de Pesquisa Engenharia de Processos e Sistemas Particulados (GPEPSP), da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) vem elaborando pesquisas relacionadas ao uso de compostos bioativos oriundos de resíduos agrícolas, como a casca de noz-pecã (VALÉRIO FILHO, *et al.*, 2022). Além disso, o GPEPSP também atua na área de desenvolvimento de adsorventes sustentáveis a partir de resíduos (RAUPP *et al.*, 2021; SILVA *et al.*, 2020; VALÉRIO FILHO *et al.*, 2021) de desenvolvimento de novos materiais biopoliméricos aditivados com extratos naturais para setor de embalagens de alimentos (AVILA *et al.*, 2020a; MARTINY *et al.*, 2020). Dessa forma, o presente trabalho justifica-se no sentido de reunir essas linhas de pesquisa que vêm sendo exploradas pelo grupo há alguns anos, tendo como resultado o desenvolvimento de um produto inovador e *eco-friendly*.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo do presente trabalho é desenvolver membranas poliméricas de gelatina contendo carvão ativado impregnado com compostos bioativos provenientes do extrato da casca de noz-pecã e avaliar seu potencial para aplicação como curativo cutâneo.

### **2.2 Objetivos Específicos**

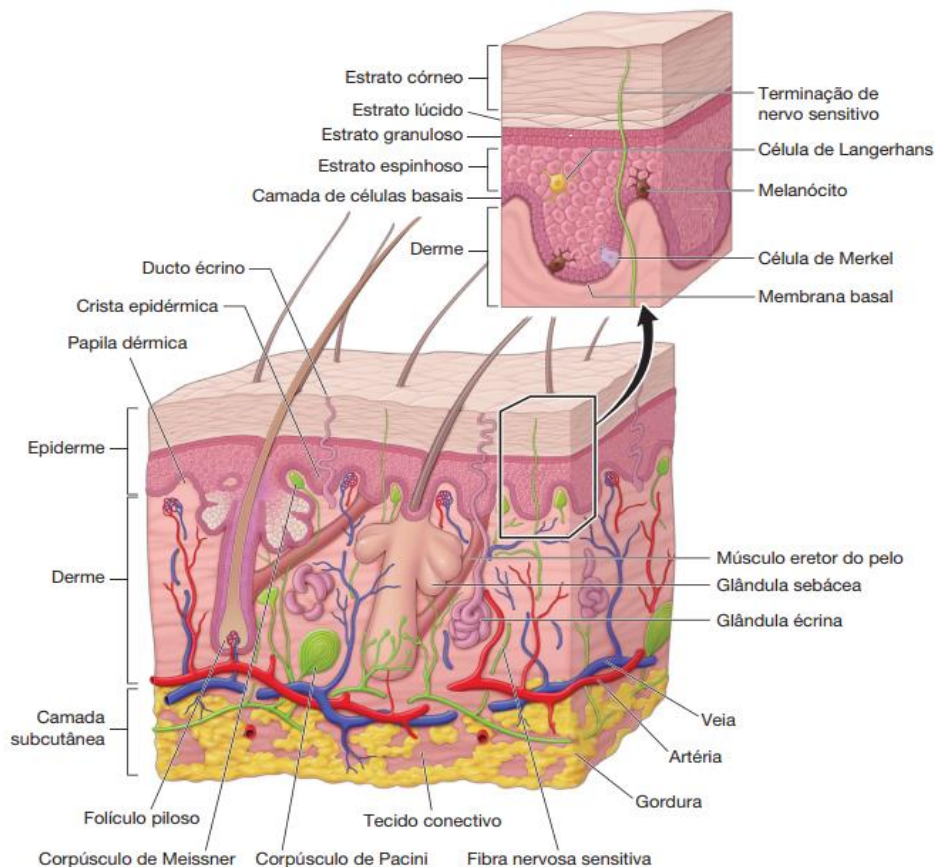
- Obter extrato da casca de noz-pecã por maceração;
- Avaliar o extrato de casca de noz-pecã;
- Impregnar o carvão ativado com compostos bioativos presentes no extrato natural;
- Desenvolver membranas poliméricas de gelatina contendo carvão ativado impregnado com extrato da casca de noz-pecã;
- Avaliar as propriedades físicas, químicas, mecânicas e barreira das membranas.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Pele

A pele representa 16% do peso corporal de uma pessoa e é classificada como o maior órgão do corpo humano, recobrendo toda a superfície externa do mesmo. Esse órgão apresenta grande importância no organismo humano, visto que é responsável por atuar como barreira contra agentes químicos, físicos e organismos patogênicos; participa na regulação térmica do corpo; e promove a homeostasia do de líquidos e minerais através da produção de suor (BOROJEVIC; SERRICELLA, 1999). A Figura 1 apresenta as estruturas presentes na pele.

Figura 1 – Pele e tecido subcutâneo



Fonte: Bohjanen, K. (2015)

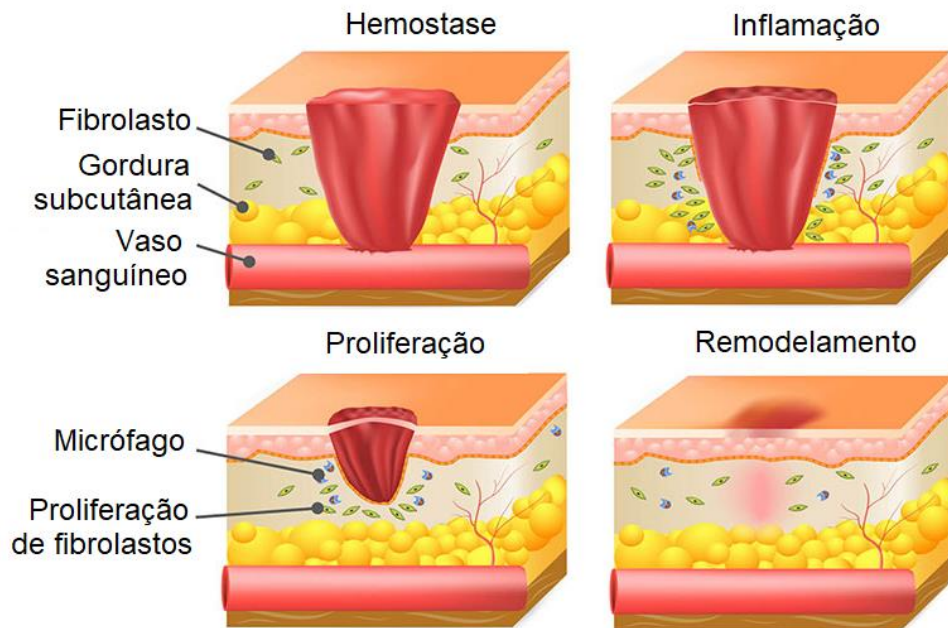
São duas as principais camadas que compõem a pele, chamadas epiderme e derme. Além dessas, existe também a hipoderme, camada mais interna e majoritariamente composta de tecido adiposo (CAMPOS, 2007). A hipoderme é responsável pela promoção de isolamento térmico, proteção contra traumas físicos e

armazenamento de energia (PINTO, 2014). A epiderme é a camada mais externa da pele, sendo essa a principal barreira contra agentes externos. Suas principais funções são inibir a infiltração de patógenos e deter a perda de calor e água (ZARRINTAJ *et al.*, 2017). A epiderme é composta por queratinócitos, responsáveis pela produção de queratina; melancócitos, que atribuem coloração a pele; células de Langerhans, que participam do sistema imune; e as células de Merkel, relacionadas às terminações nervosas (VANPUTTE; REGAN; RUSSO, 2016). A derme é um tecido conectivo que fornece oxigênio e nutrientes à epiderme através de vasos sanguíneos e linfáticos. Apresenta terminações nervosas, glândulas, folículos pilosos e musculatura lisa (RUIVO, 2014). Quando esses tecidos são lesionados, o organismo promove reações que visam sanar essas lesões (KERPPERS *et al.*, 2019).

### **3.1.1 Processo de cicatrização de feridas na pele**

A cicatrização é um processo que se inicia quando ocorrem lesões que danificam o tecido epitelial. Durante esse processo ocorrem diversas reações celulares, bioquímicas e moleculares com a finalidade de reconstruir o tecido danificado (ANTONIO CARLOS LIGOCKI CAMPOS; BORGES-BRANCO; GROTH, 2007). O processo de cicatrização é constituído por etapas responsáveis pela regeneração da pele, sendo elas: hemostase, inflamação, proliferação e remodelação (ZARRINTAJ *et al.*, 2017). A hemostase é a primeira etapa, iniciando logo após a ocorrência da lesão. Nessa etapa são formados coágulos resultantes da agregação das plaquetas e responsáveis pela formação da fibrina, amenizando a perda de fluido corporal e suprimindo o crescimento celular. A inflamação, segunda etapa, é caracterizada pela ação de células inflamatórias, como granulócitos e macrófagos, que penetram na ferida afim de proteger o tecido contra partículas estranhas que possam causar migração celular. A fase de proliferação se inicia, aproximadamente, no 4º dia após a lesão e consiste na proliferação de fibroblastos, queratinócitos e formação de uma matriz extracelular, permitindo assim a reconstituição da derme. Na última etapa, a remodelação, ocorre a ação do colágeno de forma organizada e os processos ativados após a lesão cessam, resultando finalmente na formação de novos tecidos conectivos e sistemas vasculares (BOATENG *et al.*, 2008; GURTNER *et al.*, 2008; WIEGAND; HIPLER, 2010; ZARRINTAJ *et al.*, 2017). A Figura 2 ilustra as etapas de cicatrização da pele.

Figura 2 – Etapas de cicatrização da pele



Fonte: Adaptado de Wasatch Photonics (2017)

As feridas cutâneas são classificadas em categorias, sendo elas: feridas agudas, causadas por lesões produzidas por ações mecânicas; incisões cirúrgicas; queimaduras; e feridas crônicas, que apresentam processo longo de cicatrização e altas taxas de reincidência (AMBROGI *et al.*, 2020). Por causarem danos sociais, econômicos e até psicológicos ao paciente, as feridas tornam-se um problema de saúde pública, visto que acabam sobrecarregando esse sistema e gerando altos custos, afetando principalmente países não desenvolvidos (NUSSBAUM *et al.*, 2018). No Brasil, estima-se que os danos acarretados por feridas crônicas afetam anualmente aproximadamente 5 milhões de brasileiros, sendo esta uma das principais causas de afastamento laboral. A proliferação de micro-organismos na ferida é também um problema, sendo um dos fatores que retardam e dificultam o processo de cicatrização. Normalmente é causada pelo excesso de exsudação e deve ser evitada, pois a presença desses agentes provoca o desenvolvimento de infecções e complicações (MISIC; GARDNER; GRICE, 2014). A colonização bacteriana em feridas pode ser causada tanto por bactérias gram-negativas, como *Escherichia coli*, quanto gram-positivas, como *Staphylococcus aureus* (CAMPOS *et al.*, 2006; FRANCO, 2014).

### 3.2 Curativos

Curativos são utilizados no processo de cicatrização pois auxiliam na

regeneração dos tecidos da derme e epiderme (MOGOŞANU; GRUMEZESCU, 2014). Para que essa regeneração ocorra de forma mais eficaz, é importante que o ambiente da ferida esteja úmido e quente, amenizando condições fisiológicas da matriz extracelular, permitindo a evaporação do exsudado e, conseqüentemente, evitando a proliferação de micro-organismos (GURTNER *et al.*, 2008; ZARRINTAJ *et al.*, 2017).

O uso de curativos é uma prática antiga, sendo os primeiros produzidos a partir de fibras vegetais, óleos e mel. A fibra era utilizada por suas propriedades de absorção, o óleo funcionava como barreira física e o mel por sua atividade antimicrobiana (MALAGUTTI; KAKIHARA, 2014; ZIMMERMAN; VEITH, 1961). Com o passar dos anos e avanço tecnológico, as matérias-primas e metodologias empregadas no desenvolvimento de curativos foram sendo aprimoradas (REZVANI GHOMI *et al.*, 2019). Atualmente, existem diversas formas de classificar curativos, sendo uma delas referente a sua atividade: curativos inativos, gazes e outros tecidos; interativos, hidrocoloides e hidrogéis; e ativos, que apresentam componentes inibidores de micro-organismos (BASÍLIO, 2018). Dentre esses três tipos de curativos, apenas os curativos ativos são diretamente atuantes no processo de cicatrização, enquanto os outros apenas promovem um ambiente úmido e quente para a proteção contra micro-organismos (WIEGAND; HIPLER, 2010).

O Quadro 1 indica alguns dos tipos de curativos disponíveis comercialmente.

Quadro 1 – Curativos poliméricos comerciais

<b>Tipo</b>	<b>Curativos comerciais</b>
Espumas	Lyof foam®; Allevyn®
Hidrocoloides	Duoderm®; Tegaserb®
Hidrogéis	Dermagran®; Duoderm gel®; Hydrosorb®
Géis	Acquacell®; Curasorb®; Kaltostat®
Filmes	Hydrofilm®; Actisorb Plus 25®; Curatec®

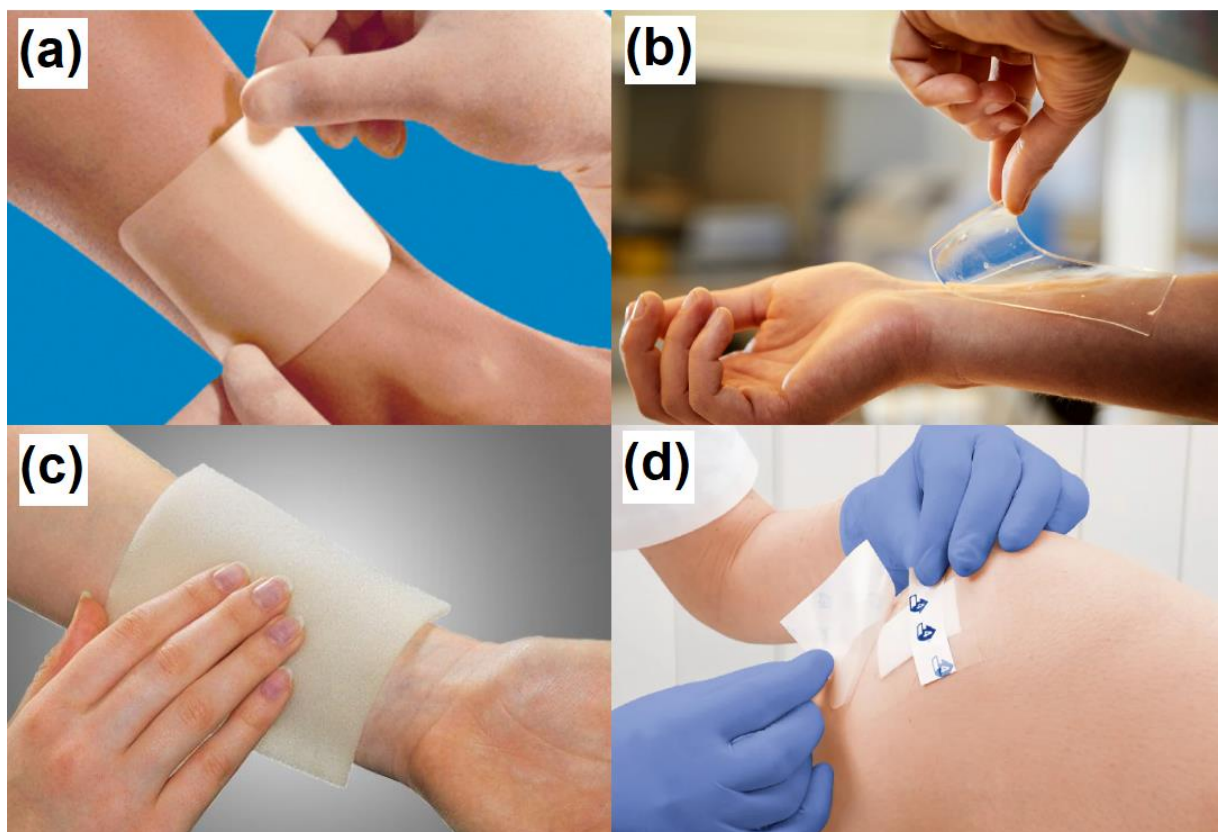
Fonte: Autora (2022)

### 3.2.1 Curativos a base de polímeros naturais

Para o desenvolvimento de um curativo, é necessário que seja utilizado um material que garanta a cobertura da ferida e previna infecções (MAJNO, 1991). Dentre os materiais que podem ser usados na formulação de curativos cutâneos, pode-se

citar como mais importantes os polímeros sintéticos e naturais. Polímeros naturais podem ser obtidos a partir de animais ou plantas, como quitosana, lã, algodão, gelatina, etc. Os polímeros sintéticos são materiais produzidos em laboratório através de reações químicas, como polipropileno, policloreto de vinila, etc. Tanto os polímeros sintéticos quanto os naturais podem ser biodegradáveis, característica ambientalmente interessante (TIAN *et al.*, 2012). Os polímeros sintéticos são mais estáveis que os polímeros naturais, porém, os polímeros naturais possuem alta degradabilidade, são menos tóxicos e mais econômicos (BHATIA, 2016). A Figura 3 apresenta alguns tipos de curativos que podem ser desenvolvidos a partir de polímeros naturais, enquanto o Quadro 2 apresenta estudos que utilizaram polímeros naturais para a formulação de curativos.

Figura 3 - Diferentes tipos de curativos: (a) hidrocolóides, (b) hidrogéis, (c) géis e (d) filmes



Fonte: Autora (2023)

Quadro 2 – Curativos desenvolvidos a partir de polímeros naturais

<b>Tipo</b>	<b>Polímeros principais</b>	<b>Aplicação</b>	<b>Referência</b>
Hidrocoloides	Alginato de sódio	Curativo de liberação controlada	(THU; ZULFAKAR; NG, 2012)
	Alginato de sódio	Curativo para feridas com baixa supuração	(CHIN; GAN, 2021)
Hidrogéis	Álcool polivinílico/gelatina	Curativo antibacteriano	(TAMAHKAR et al., 2020)
	Alginato de sódio/álcool polivinílico/poloxâmeros/Pluronic F127	Curativo termossensível	(ABBASI et al., 2020)
Géis	Hipromelose/quitosana	Curativo para aplicações tópicas	(VARSHOSAZ et al., 2018)
	Colágeno/quitosana	Curativo cutâneo	(LI et al., 2019a)
Filmes	Gelatina	Curativo antimicrobiano e antioxidante	(DO NASCIMENTO et al., 2020)
	Quitosana	Curativos cutâneos	(LI et al., 2019b)

Fonte: Autora (2022)

Atualmente, muitos estudos vêm investigando o uso de polímeros naturais como matéria-prima para o desenvolvimento de diferentes tipos de curativos cutâneos, muitas vezes impregnados com compostos bioativos ou fármacos que aceleram o processo de cicatrização (ALBORZI; IZADI-VASAFI; GHAYOUMI, 2021; ILLSLEY et



*al.*, 2017; KAMEL; ABD EL-MESSIEH; SALEH, 2017). Alzarea *et al.* (2022) reportam o uso de alginato de sódio como polímero precursor para o desenvolvimento de filmes contendo fármaco com potencial antibacteriano (ALZAREA *et al.*, 2022); Yassue-Cordeiro *et al.* (2019) desenvolveram filmes poliméricos a partir do uso de quitosana contendo zeólitas e sulfadiazina de prata (AgSD) com a finalidade de uma liberação controlada do antibacteriano (AgSD) e Hubner *et al.* (2020) investigaram a formulação de filmes de gelatina contendo zeólitas impregnadas com íons de prata como proposta de curativos antibacterianos (HUBNER *et al.*, 2020; YASSUE-CORDEIRO; ZANDONAI; GENESI, 2019).

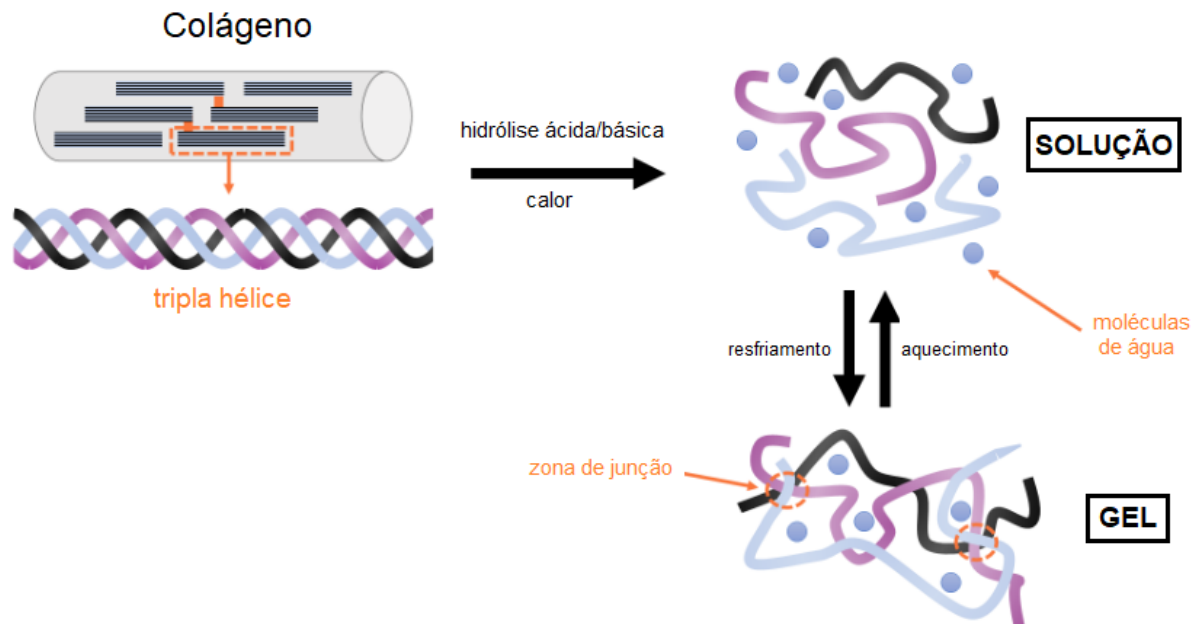
No entanto, existem também algumas desvantagens referentes ao uso de polímeros naturais. Dentre as desvantagens, pode-se citar: a dificuldade de obter a matéria-prima (polímero natural) em alguns casos; possibilidade de rejeição do material e infecções; falta de uniformidade nos lotes; instabilidade do material; e baixas propriedades mecânicas (BHATIA, 2016). Quanto à esta última característica citada, existem metodologias reportadas na literatura – como o uso de plastificantes, reticulação e combinação de dois polímeros diferentes (blendas) – que se mostram efetivas no aumento das propriedades mecânicas de membranas biopoliméricas (LEE; SHIM; LEE, 2004).

### **3.3 Gelatina**

A gelatina é um polímero natural e também uma proteína proveniente da hidrólise do colágeno, uma proteína insolúvel presente em ossos, pele e tecidos conjuntivos de animais (HUBNER *et al.*, 2020). O colágeno é composto por moléculas fibrosas e rígidas interligadas através de ligações covalentes (DE WOLF, 2003). Essas moléculas possuem três cadeias polipeptídicas em formato de tripla hélice estabilizadas por ligações de hidrogênio. A estrutura de tripla hélice se deve à repetição de uma sequência glicina-prolina-hidroxiprolina. Porém, em regiões denominadas telopeptídeos essa estrutura não é formada, pois as moléculas que compõem essas regiões consistem em ligações covalentes cruzadas intra e intermoleculares (BATEMAN; LAMANDE; RAMSHAW, 1996). Uma das características da gelatina é a capacidade de formar gel quando a solução aquosa do polímero é submetida ao resfriamento, processo que ocorre através da retenção de água no interior de sua estrutura por conta da presença de grupos amino e carboxílicos dos aminoácidos, ligações iônicas e ligações de hidrogênio (BERTAN,

2003; DJAGNY; WANG; XU, 2001). As regiões ricas em aminoácidos promovem zonas de junção, formando uma rede tridimensional do gel (GIRAUDIER *et al.*, 2004; MARK, 2013). A Figura 3 ilustra o processo de formação da gelatina a partir do colágeno.

Figura 4– Formação da gelatina a partir do colágeno



Fonte: Adaptado de ChemBAM (2021)

A gelatina é classificada em dois tipos, que estão relacionados à metodologia – hidrólise ácida ou básica – utilizada em sua formação. O processo de hidrólise ácida é responsável pela formação da gelatina tipo A (ponto isoelétrico 6 – 9), enquanto a gelatina tipo B (ponto isoelétrico 5) é obtida a partir da hidrólise básica do colágeno (EYSTURSKARD *et al.*, 2009; GUERRERO *et al.*, 2011). A diferença entre os pontos isoelétricos (pH onde as moléculas são neutras) é dada pelo fato de que no pré-tratamento ácido os grupos amino presentes são pouco afetados, enquanto o tratamento alcalino provoca a hidrólise dos grupos amino em grupos carboxílicos (ARVANITOYANNIS; NAKAYAMA; AIBA, 1998; YOUNG *et al.*, 2005). A composição desse polímero consiste em 50,5% de carbono, 6,8% de hidrogênio, 17% de nitrogênio e 25,2% de oxigênio (SMITH, 1921). Além disso, sua estrutura conta com resíduos de alguns aminoácidos, sendo os principais: glicina, prolina e 4-hidroxiprolina; além desses, sua conformação de hélice prolina canhoto estendida é incorporada com 300 a 4000 aminoácidos (PAL; BANTHIA; MAJUMDAR, 2007). As

características mencionadas são responsáveis pela habilidade que esse polímero possui de formar géis viscosos e resistentes, sendo essa uma das mais importantes propriedades da gelatina (OAKENFULL; SCOTT, 2003). Devido à isso, muitos estudos investigam o uso da gelatina como polímero precursor para o desenvolvimento de filmes e membranas utilizadas como embalagens alimentícias ou, até mesmo, curativos cutâneos (AHMAD *et al.*, 2012; DO NASCIMENTO *et al.*, 2020; HUBNER *et al.*, 2020; NUR HANANI; ROOS; KERRY, 2014).

### 3.3.1 Membranas de gelatina aplicadas como curativo

Dentre as vantagens do uso da gelatina, pode-se destacar o baixo custo, propriedades de cicatrização da pele e biodegradabilidade – fator atribuído a não especificidade enzimática para hidrólise desse polímero (NGUYEN *et al.*, 2016). Além desses fatores, a gelatina conta com uma composição de diversidade molecular vasta e potencial para formação de diferentes ligações químicas, o que torna esse polímero favorável para a produção de membranas (LEE; SHIM; LEE, 2004; NUR HANANI; ROOS; KERRY, 2014; SHOJAEI *et al.*, 2015). Devido a esses fatores, muitos trabalhos na literatura abordam o uso de membranas de gelatina no desenvolvimento de curativos biopoliméricos. O Quadro 3 apresenta estudos que utilizaram a gelatina como material precursor para o desenvolvimento de diferentes curativos poliméricos.

Quadro 3 – Estudos referentes ao uso de gelatina em curativos

(continua)

Autor	Trabalho realizado
Hubner, <i>et al.</i> (2017)	Desenvolvimento de curativos cutâneos de gelatina contendo zeólitas impregnadas com Ag para liberação controlada de agente antibacteriano
Rabello, <i>et al.</i> (2017)	Desenvolvimento de membranas de gelatina para liberação controlada de fármaco em ulcerações na mucosa oral
Lima, <i>et al.</i> (2017)	Formulação e avaliação da caracterização e perfil de liberação de membranas de gelatina contendo ácido úsnico para o tratamento de queimaduras
Kavoosi <i>et al.</i> (2013)	Desenvolvimento de membranas de gelatina incorporadas com timol para uso como nano curativo

## Quadro 3 – Estudos referentes ao uso de gelatina no desenvolvimento de curativos

(conclusão)

Do Nascimento, <i>et al.</i> (2020)	Desenvolvimento e caracterização de curativo de gelatina incorporado com extrato de <i>Punica granatum</i> Linn
Jesus, M.J.M. (2017)	Desenvolvimento e caracterização de membranas de gelatina contendo ácido úsnico e nanopartículas de prata
Ahmad, <i>et al.</i> (2012)	Desenvolvimento de filmes de gelatina incorporados com óleo de <i>Citrus bergamia</i> e <i>Cymbopogon citratus</i>
Patel, <i>et al.</i> (2017)	Produção de membranas de gelatina e quitosana contendo lupeol para potencial uso como curativo
He, <i>et al.</i> (2015)	Desenvolvimento de membrana de regeneração tecidual a partir de PCL e gelatina contendo agentes anti-inflamatórios para liberação controlada na cicatrização de feridas
Ahmadi, <i>et al.</i> (2021)	Produção de membranas de gelatina e quitosana contendo extrato de <i>Cinnamomum zeylanicum</i> para potencial aplicação como curativo antibacteriano

Fonte: Autora (2022)

O Quadro 3 evidencia a amplitude do uso da gelatina em diversos tipos de curativos. A produção das membranas de gelatina é relativamente simples, visto que se trata de um material solúvel em água. No entanto, é importante salientar que essa solubilidade em meio aquoso requer aquecimento para que ocorra a dissociação completa da glicina-prolina-hidroxiprolina que compõem a tripla hélice (STEYAERT *et al.*, 2016). Na maioria desses estudos são utilizados compostos bioativos, fármacos e até mesmo outros polímeros com a finalidade de alterar as propriedades físico-químicas da membrana (AHMAD *et al.*, 2012; DO NASCIMENTO *et al.*, 2020).

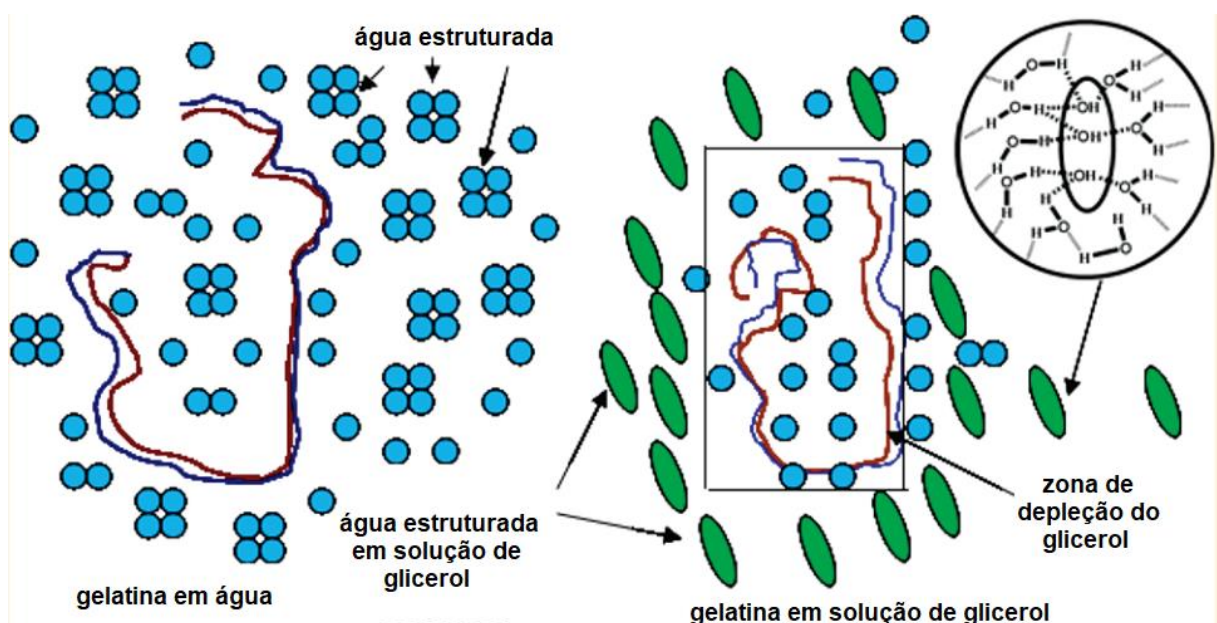
A gelatina apresenta muitas qualidades para a produção de filmes, como barreira ao oxigênio, boa resistência mecânica em níveis de umidade relativa menores que 65% (ARVANITOYANNIS; NAKAYAMA; AIBA, 1998). No entanto, existem algumas desvantagens dos filmes de gelatina relacionadas às propriedades físicas, como permeabilidade e resistência mecânica em quando em elevados níveis de umidade relativa devido à natureza hidrofílica do polímero (SUDERMAN; ISA; SARBON, 2018). Dessa forma, algumas técnicas são utilizadas para melhorar propriedades mecânicas, aumentar a flexibilidade e tornar os filmes menos

quebradiços, como a plastificação, reticulação, entre outras (VIEIRA *et al.*, 2011). Usualmente o processo de plastificação é realizado com agentes plastificantes, como o glicerol e sorbitol (MILLER *et al.*, 2021). Essa técnica consiste em alterar a natureza hidrofílica do polímero através das reações químicas provocadas pela adição dos agentes plastificantes (BOCQUÉ *et al.*, 2016; COUTINHO, 2021).

### 3.4 Plastificantes

Além da natureza hidrofílica da gelatina, existe outro fator que influencia nas características indesejáveis dos filmes, que é a formação de redes tridimensionais com zonas de junção intermoleculares e microcristalinas que, quando submetidas a desidratação, podem resultar em filmes quebradiços (ARVANITOYANNIS; KASSAVETI, 2007; VANIN *et al.*, 2005). Ao adicionar plastificantes à solução filmogênica, as interações intercadeias são reduzidas, aumentando a flexibilidade dos filmes (SOTHORNVIT; REID; KROCHTA, 2002; VANIN *et al.*, 2005). A plastificação reduz as forças intermoleculares das cadeias poliméricas, provocando um aumento no movimento e volume de vazios das cadeias (HANG, 2005; HUBNER, 2017). A Figura 4 ilustra como ocorre a interação entre a gelatina e o plastificante glicerol.

Figura 5 – Ação do plastificante glicerol em membranas de gelatina



Fonte: Adaptado de Sanwlani, Kumar e Bohidar (2011)

Os compostos plastificantes podem ser classificados como externos ou internos. Plastificantes internos, como o trietil-citrato e éter poliglicídico de glicerina, criam ligações com as moléculas do polímero, tornando-se parte do material e possivelmente sendo copolimerizado na estrutura do polímero ou reagir com o polímero original (PHUONG; LAZZERI, 2012; VIEIRA *et al.*, 2011). Esse tipo de plastificante usualmente apresenta estruturas mais volumosas, garantindo mais espaço para o movimento das moléculas do polímero, tornando os filmes mais maleáveis. Plastificantes externos, como o glicerol e sorbitol, são compostos de baixa volatilidade e que interagem com as cadeias poliméricas sem a formação de ligações químicas covalentes (MIKKONEN *et al.*, 2009; SEARS; DARBY, 1982). Dentre esses dois tipos, os plastificantes externos são os mais utilizados por promoverem uma maior flexibilidade aos filmes e por serem economicamente viáveis (JAMARANI *et al.*, 2018).

Existem diversos compostos utilizados como plastificantes na produção de filmes biopoliméricos, como glicerol, polietileno glicol, sorbitol, manitol, monossacarídeos, etc. O glicerol é um dos polímeros mais utilizados na plastificação de soluções filmogênicas de polímeros hidrofílicos, pois o mesmo se trata de um polioliol e sua eficiência com esse tipo de polímero é reportada na literatura (EPURE *et al.*, 2011; SUDERMAN; ISA; SARBON, 2018; ZHANG; HAN, 2006). A molécula de glicerol conta com a presença de três grupos hidroxila que são responsáveis pelas propriedades higroscópicas desse material e também sua solubilidade em meio aquoso (BEATRIZ; ARAÚJO; LIMA, 2011).

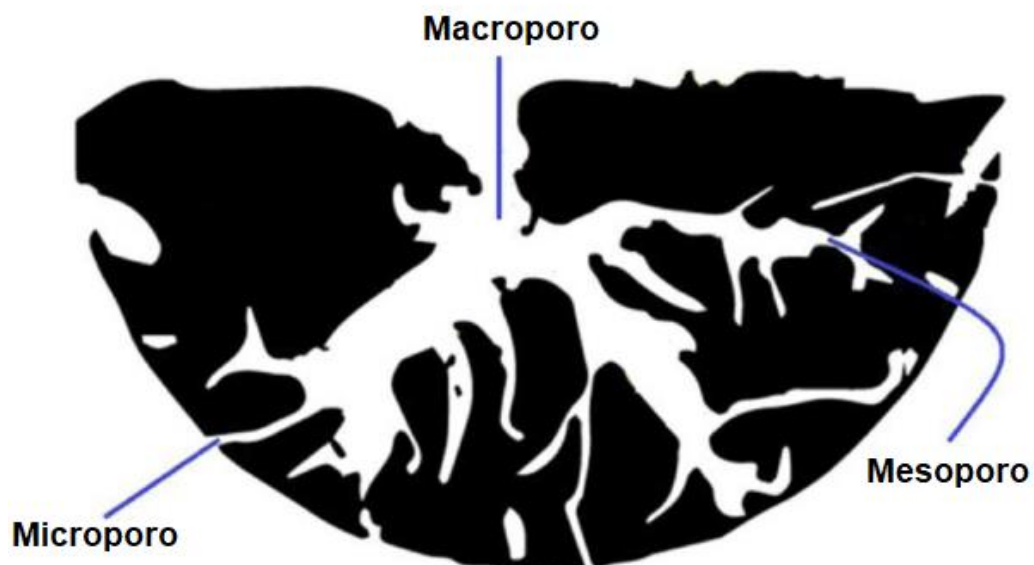
Além da utilização de plastificantes para a melhora de propriedades mecânicas de membranas poliméricas, muitos estudos apresentam o uso de compostos que alteram características químicas e físicas das membranas, atribuindo aos materiais desenvolvidos não só o aumento de propriedades mecânicas, mas também adição de propriedades antimicrobianas, anti-inflamatórias, dentre outras (AHMADI *et al.*, 2021; AVILA *et al.*, 2020b; KAVOOSI; DADFAR; PURFARD, 2013). Dentre as possibilidades de uso do carvão ativado (CA), pode-se citar seu potencial como aditivo em membranas poliméricas, reportado no estudo de Kwasniewska, A. *et al.* (2021), onde foi desenvolvida uma membrana polimérica de quitosana contendo CA em pó que teve como função melhorar as características mecânicas, de barreira e superfície (KWASNIEWSKA *et al.*, 2021).

### 3.5 Carvão ativado

Inicialmente, por volta de 3750 a.C, materiais carbonáceos mais primitivos que o CA eram utilizados pelos egípcios, sendo aplicados na fabricação de bronze e também usados como combustível (GONZÁLEZ-GARCÍA, 2018). Posteriormente, em 1550 e 400 a.C, esses materiais passaram a ser aplicados também na área médica e no tratamento de água para prevenir doenças (INAGAKI; TASCÓN, 2006). O processo de ativação química surgiu na Europa em meados do século XIX, onde eram desenvolvidos carvões ativados pulverizados, que, posteriormente, foram aplicados industrialmente no refinamento de açúcar (ROSA, 2008). Atualmente, o CA é aplicado em diversas áreas, como: tratamento de efluentes; indústria farmacêutica; indústria automobilística e área médica (DANISH; AHMAD, 2018).

O CA é descrito como um material majoritariamente composto por carbono (80 a 95%) que possui características físico-químicas, como elevada área superficial (até  $3000 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ), estrutura amplamente porosa e a presença de grupos funcionais em sua superfície, que possibilitam sua aplicação em diversas áreas (FREITAS, 2020; THAMBILYAGODAGE, 2019). O CA pode ser classificado de acordo com o tamanho de poros presentes em sua estrutura, sendo estes: microporos ( $< 2 \text{ nm}$ ); mesoporos ( $< 2\text{-}50 \text{ nm}$ ) e macroporos ( $> 50 \text{ nm}$ ) (D.H. EVERETT, 1972). A Figura 5 ilustra a diferença entre os diferentes tamanhos de poros.

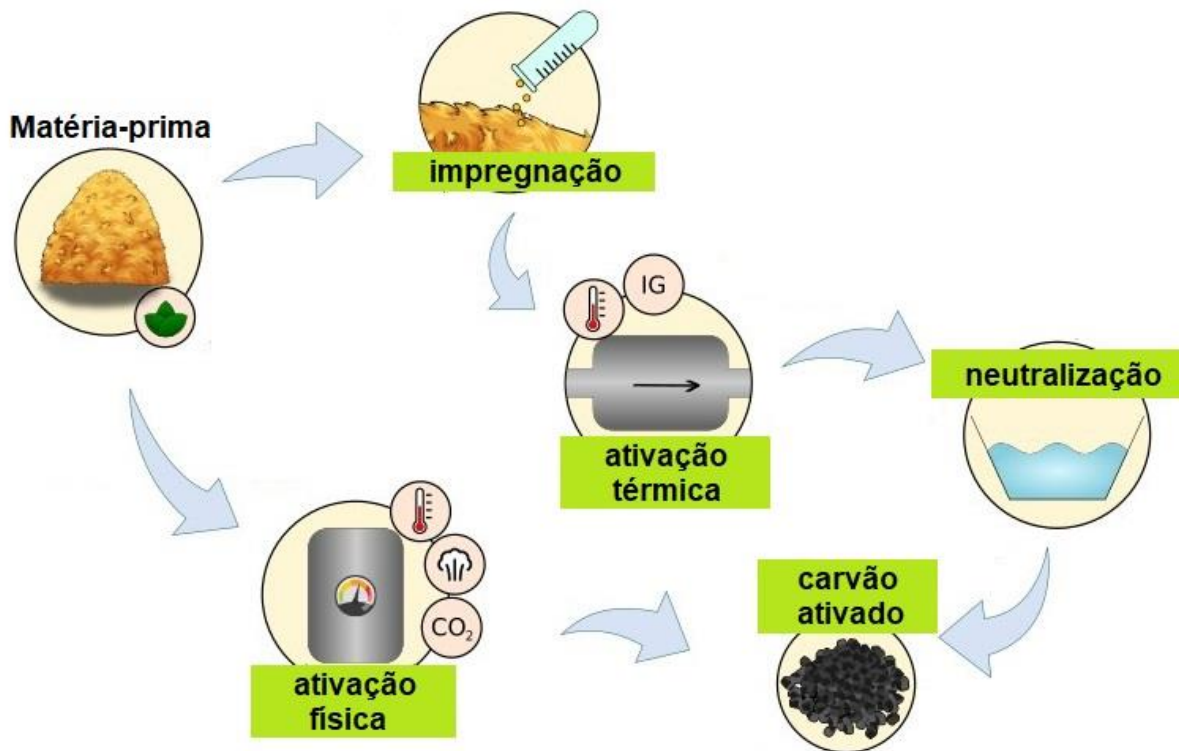
Figura 6 – Estrutura do CA com os diferentes tamanhos de poros



Fonte: Adaptado de Baby, Saifullah e Hussein (2019)

Essas características físicas e químicas do CA são oriundas dos processos realizados em sua produção. Inicialmente, a matéria-prima sofre um pré-tratamento envolvendo as operações unitárias de secagem, moagem e peneiramento (VALÉRIO FILHO *et al.*, 2020; SILVA, 2019). Logo após, a matéria-prima pré-tratada é submetida a carbonização e, posteriormente, ativação física e/ou química. A metodologia e a ordem dos processos de ativação pode variar de acordo com o método utilizado (VALÉRIO FILHO *et al.*, 2022). A Figura 6 ilustra as diferenças entre os tipos de ativação.

Figura 7 – Obtenção de CA a partir de diferentes tratamentos



Fonte: Adaptado de Valério Filho *et al.* (2022)

A Figura 6 ilustra que o processo de ativação pode consistir em somente ativação química (nesse caso podem ser utilizados diferentes reagentes no processo de impregnação e/ou realização de pirólise); ativação física (realizada em altas temperaturas, como o processo de carbonização); ou então uma combinação de ambas (AHMED *et al.*, 2017). Durante os processos de ativação, a matéria-prima interage com os ativadores químicos e térmicos, resultando na formação de grupos funcionais, área superficial elevada e alta porosidade (MANGUEIRA, 2014).

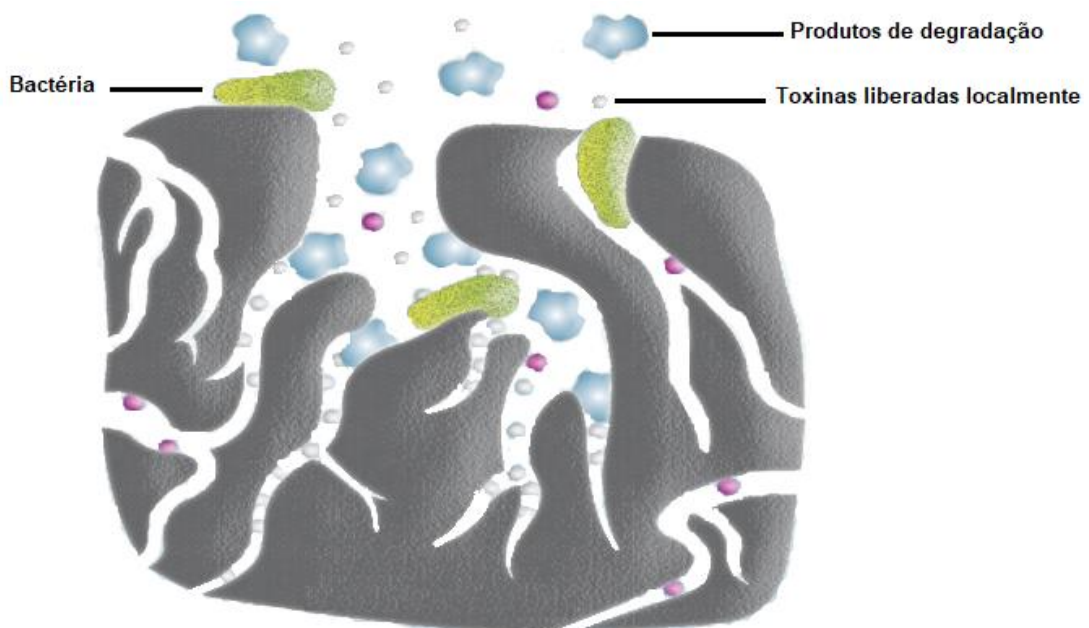


### 3.5.1 Carvão ativado no tratamento de feridas

Devido às suas características, como vasta área superficial e biocompatibilidade, o CA vem sendo muito utilizado no tratamento de feridas como substância ativa inserida em curativos (SCHEER; KAISER; ZINGG, 2017). Os curativos contendo CA são usados, principalmente, no combate ao mal odor presente em feridas, visto que sua área superficial e estrutura porosa tornam esse material um agente desodorizante, com capacidade de adsorver exsudatos e gases causadores de odores desagradáveis (KIM *et al.*, 2018). Outro fator que pode causar mau odor em feridas é a presença de micro-organismos aeróbicos e anaeróbicos que metabolizam aminoácidos através de proteínas séricas teciduais decompostas, podendo liberar compostos voláteis de enxofre contendo tiol (EVANS; FLAVIN, 2008; ILLSLEY *et al.*, 2017). Por esse motivo, muitos trabalhos reportam o uso de agentes antibacterianos – como a prata – associados ao CA como forma de combater a proliferação de micro-organismos (ALI *et al.*, 2022; KEVIYASHRI *et al.*, 2021; KIM *et al.*, 2018). Além dos estudos citados, é importante também mencionar os curativos contendo CA e agente antibacteriano já comercializados como os curativos Actisorb Plus 25<sup>®</sup>, Vliwaktiv<sup>®</sup> Ag e Curatec<sup>®</sup>.

A Figura 7 mostra como ocorre a ação do CA como agente desodorizante e antibacteriano no processo de cicatrização.

Figura 8 – Ação do CA em curativos



Como apresentado na Figura 7, a estrutura do CA permite que compostos como produtos de degradação, toxinas e micro-organismos sejam adsorvidos na estrutura porosa do curativo, impedindo seu contato com a ferida e, conseqüentemente, anulando seus efeitos negativos. Essa adsorção ocorre devido ao desenvolvimento de forças de Van der Waals que interagem com os compostos indesejáveis (SCHEER; KAISER; ZINGG, 2017). Esses efeitos podem ser potencializados a partir da adição de um agente antibacteriano, sendo os íons de prata os mais utilizados, principalmente nos curativos comerciais (FRANCO; GONÇALVES, 2008). Visto que muitos produtos naturais apresentam características antioxidantes e antibacterianas, o uso de compostos bioativos como substitutos dos íons de prata pode ser promissor. Nesse sentido, pode-se citar o estudo de Kaviyashri, Y. *et al.* (2021), que investigaram o uso de extrato de *Allium sativum* e CA impregnado com queratina para potencial desenvolvimento de curativo antibacteriano e confirmaram o potencial do CA como transportador da queratina e, também, adsorvente para os compostos indesejáveis liberados no processo de cicatrização das feridas (KEVIYASHRI *et al.*, 2021).

O uso de compostos naturais e suas propriedades é historicamente reportado devido à sua alta atividade biológica, podendo ser encontrados em plantas ou até mesmo em produtos de origem animal (LICHOTA; GWOZDZINSKI, 2018). No Brasil, a região Sul é destacada por apresentar alta atividade agrícola e, portanto, gera diversos resíduos ricos em compostos naturais (VALÉRIO FILHO *et al.*, 2022). Dessa forma, muitos estudos investigam o uso de extrato naturais de resíduos agrícolas, dos quais podemos citar os estudos realizados por Ávila, L. *et al.* (2020) que utilizaram os compostos bioativos presentes na casca da jabuticaba como aditivo na produção de embalagens bioativas; Martiny, T. *et al.* (2020) que aplicaram o extrato bioativo da folha da oliveira em embalagem biopolimérica alternativa para carne de cordeiro; e Prado, A.C.P. *et al.* (2014) que avaliou as propriedades dos compostos bioativos presentes na casca de noz-pecã (AVILA *et al.*, 2020a; DO PRADO *et al.*, 2014; MARTINY *et al.*, 2020).

### **3.6 Noz-pecã (*Carya illinoensis* K. Koch)**

As nozes podem ser descritas como frutos secos envoltos por uma casca rígida (BODOIRA; MAESTRI, 2020). Existem diversos tipos diferentes de nozes, sendo as mais populares: amêndoa, castanha, castanha-do-pará, castanha-de-caju, pistache,

avelã, macadâmia e pecã (VENKATACHALAN; SATHE, 2006). O consumo de nozes tem sido cada vez mais difundido por trazer muitos benefícios à saúde humana, como redução do risco de doenças cardiovasculares, asma, câncer, diabetes tipo 2, entre outros (ALASALVAR; BOLLING, 2015; LAMUEL-RAVENTOS; ONGE, 2017). Esses efeitos positivos causados pelo consumo de nozes estão relacionados à presença de diversos compostos bioativos presentes em sua composição, sendo eles: macro e micronutrientes; bioativos lipossolúveis; fibras, vitaminas, minerais e fenólicos (ALASALVAR; SALVADÓ; ROS, 2020; FREITAS; NAVES, 2010).

Dentre as variedades de nozes, a noz-pecã (*Carya illinoensis* K.Koch) encontra-se entre as com maior valor comercial e popularidade (ALASALVAR; SHAHIDI, 2008; MACIEL *et al.*, 2020). A noz-pecã é fruto da árvore conhecida como noqueira-pecã e seu cultivo teve início no sul dos Estados Unidos e norte do México, sendo trazida para o Brasil apenas no século XVIII. Atualmente no Brasil, a noz-pecã é amplamente cultivada nos estados de São Paulo, Santa Catarina, Minas Gerais e Rio Grande do Sul (POLETTO *et al.*, 2015). A popularidade e o elevado interesse nesse fruto estão relacionados ao seu elevado teor de compostos fenólicos (um dos maiores dentre as nozes) e à sua composição rica em ácidos graxos mono e poliinsaturados, tocoferóis, esteróis e compostos fenólicos, que atribuem a esse fruto características antioxidantes (ALASALVAR; SALVADÓ; ROS, 2020; ALASALVAR; SHAHIDI, 2008; ATANASOV *et al.*, 2018). A Figura 8 ilustra a noqueira-pecã (a) e o fruto envolto pela casca (b).

Figura 9 – Nogueira-pecã e o fruto noz-pecã



Fonte: Adaptado de Wikimedia Commons (2019)

As aplicações da noz-pecã na indústria alimentícia estão voltadas para o uso de seu fruto (parte interna), enquanto a sua casca, que representa 45% do peso da noz-pecã, é considerada um resíduo (CAXAMBÚ *et al.*, 2016). Dessa forma, muitos estudos investigam o uso da casca de noz-pecã para desenvolvimento de materiais e também para o uso de suas propriedades (DO PRADO *et al.*, 2014; PANG *et al.*, 2019; RIBEIRO *et al.*, 2017b; ZAZYCKI *et al.*, 2018).

### 3.7 Compostos bioativos presentes na casca de noz-pecã

Assim como o fruto, a casca de noz-pecã apresenta elevados teores de compostos fenólicos com altas concentrações de ácido gálico, ácido clorogênico, ácido p-hidroxibenzóico, galato de epigallocatequina e galato de epicatequina (DO PRADO *et al.*, 2014). Durante o processo de cicatrização, a presença destes compostos antioxidantes potencializa o reparo enzimático e melhora o metabolismo, tendo em vista que, durante o processo de cicatrização, o corpo humano produz espécies reativas de oxigênio responsáveis por degradar lipídios, proteínas e ácido nucleico, retardando o processo bioquímico (ANDRÉ-LÉVIGNE *et al.*, 2017). Devido à sua composição rica em compostos benéficos para a saúde humana, as cascas de noz-pecã são normalmente comercializadas como chá. A presença desses compostos faz com que o consumo do chá da casca de noz-pecã esteja relacionado à redução

de colesterol, prevenção de doenças hepáticas e diminuição de sintomas de ansiedade, além de possuir propriedades antioxidantes (MALIK *et al.*, 2009; MÜLLER *et al.*, 2013; RECKZIEGEL *et al.*, 2011). O Quadro 4 apresenta valores encontrados nos estudos de Do Prado, *et al.* 2009 referentes a compostos fenólicos, taninos condensados e atividade antioxidante obtida por ABTS [2,2'-azino-bis-(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)] e DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil) presentes no extrato etanólico da casca de noz-pecã.

Quadro 4 – Compostos presentes do extrato na noz-pecã

<b>Composto</b>	<b>Valor</b>
Fenólicos totais (mg GAE.g <sup>-1</sup> )	118,4
Taninos condensados (mg CE.g <sup>-1</sup> )	736,5
Capacidade antioxidante ABTS (µmol TEAC.g <sup>-1</sup> )	2600,6
Capacidade antioxidante DPPH (µmol TEAC.g <sup>-1</sup> )	617,4

Fonte: Adaptado de Do Prado *et al.* (2009)

Além dos benefícios à saúde humana, os compostos bioativos atribuem à casca de noz-pecã propriedades antimicrobianas (DO PRADO *et al.*, 2014). Tendo em vista todas essas características positivas, muitos estudos vêm investigando diversas formas de aplicação do extrato desse resíduo (AMARAL *et al.*, 2019; ARCIELLO *et al.*, 2021; DÓRAME-MIRANDA *et al.*, 2021; LEON-BEJARANO *et al.*, 2020; VILLASANTE; MARTIN-LUJANO; ALMAJANO, 2020). Dentre esses estudos, pode-se mencionar a pesquisa realizada por Leon-Bejarano *et al.* (2020), que investigou a aplicação do extrato da casca de noz-pecã como aditivo em filme de amido como uma alternativa para o uso de plásticos convencionais, onde os resultados indicaram aumento nas propriedades mecânicas e adição de propriedades antioxidantes e antimicrobianas aos filmes; e Villasante, Martin-Lujano e Almajano (2020), que estudaram o uso do extrato na noz-pecã em filme de gelatina aplicado como embalagem alimentícia alternativa, concluindo que os compostos presentes no extrato melhoraram as propriedades mecânicas e antioxidantes da embalagem. Entretanto, a literatura ainda apresenta poucos estudos relacionados ao uso das propriedades do extrato da casca de noz-pecã como aditivo em curativos alternativos.

## 4 METODOLOGIA

O desenvolvimento do presente trabalho de conclusão de curso foi elaborado de forma a gerar um artigo científico. Portanto, esta seção será apresentada na forma de artigo e encontra-se na fase de formatação para submissão na revista *Journal of Bioactive and Compatible Polymers* da editora SAGE Journals com fator de impacto de 2,134.

### 4.1 Artigo 1

#### **Gelatin membranes containing activated carbon impregnated with pecan nutshell extract as a potential wound dressing material**

##### **Abstract**

Skin dressings are used to cover the wound during the healing to accelerate the process and prevent the occurrence of inflammations and scarring. In this study, gelatin (10 % w/v) membranes using glycerol (25 % v/v) as a plasticizer and containing activated carbon (AC) (10 % w/v), activated carbon impregnated with pecan nutshell extract (IAC) (10 % w/v) and pecan nutshell extract (0.075 % w/v) were developed through the method of casting. The materials were called MG, MAC, MIAC and ME, and characterized regarding their mechanical, chemical, and thermal characteristics. The pecan nutshell was obtained through maceration and characterized regarding total phenolic compounds (TFC) and antioxidant activity (AA). The results obtained in the characterization of the extract showed that it contains a high content of TFC (1483.04 mgGAE g<sup>-1</sup>) and antioxidant activity (5515.61 μMFe g<sup>-1</sup>). The impregnation kinetic showed that the phenolic compounds from the extract were adsorbed by the AC. The characterization of the membranes indicated that the materials obtained were strong and flexible, and presented physicochemical characteristics that are expected in a good wound dressing. Also, the addition of IAC in the membranes promoted higher thermal stability of the material. Thus, the use of AC as a carrier for the phenolic compounds present in pecan nutshell and its application as an additive in gelatin wound dressing membranes does not affect the physical and chemical properties of the materials. In this sense, further studies are recommended to evaluate the antioxidant and antimicrobial properties of this potential alternative skin dressing.

Keywords: wound dressing, biopolymer, natural extract, mechanical properties.

## Introduction

Skin wounds are caused by lesions that affect the integrity of the skin, usually caused by external agents that disrupt epithelial tissue <sup>1,2</sup>. This type of dermal lesion represents approximately 2% of the factors that affect the population's quality of life, and 4% of the health system expenditures <sup>3</sup>. Wound healing is a biological process that occurs spontaneously in three stages: hemostasis, inflammation, proliferation, and remodeling <sup>4</sup>. Despite being a natural process, healing happens slowly, in some cases causing infections by the action of microorganisms, forming scars, and, compromising epithelial tissue functions <sup>1,5</sup>. Active dressings are used as an alternative to accelerate the wound-healing process and avoid undesirable consequences.

Dressings are usually produced from polymers and enhanced with chemical compounds that help in the healing process <sup>3</sup>. The role of the polymer in healing occurs due to the physical characteristics of the material, which enables the creation of an environment with controlled humidity, allowing the exchange of nutrients and preventing infection caused by microorganisms <sup>6,7</sup>. Among the polymers used as raw material for the formulation of dressings, it is worth mentioning that gelatin is a protein derived from the hydrolysis of collagen <sup>8</sup>. Its most relevant characteristics are biocompatibility with human tissues, flexibility, and stability <sup>9</sup>. Due to its properties, many studies have been using gelatin in the development of polymeric dressings <sup>3,10,11</sup>.

Do Nascimento et al. (2020), Hubner et al. (2020), and Kavooosi, Dadfar, and Purfard (2013) report the use of different compounds as a way to attribute properties bioactive to dressings. When released, these additives prevent inflammation and decrease healing time <sup>12</sup>. Some studies investigate forms to control the release of these compounds and make their action more effective during healing <sup>10, 13</sup>. Usually, the controlled release happens using a porous membrane or a material containing high porosity additives that act as carriers of these compounds <sup>10</sup>.

Activated carbon (AC) is a porous material used in dressings due to its ability to adsorb exudates and gases released during the healing <sup>14</sup>. Some commercial dressings feature the use of CA with the addition of silver ions as an antibacterial agent, providing the controlled release of the ions. With the same aim, Keviyashri et al. (2021) investigated the use of CA as a potential additive and transporter for keratin in skin dressing, obtaining promising results. Like keratin, other natural compounds with bioactive properties may be beneficial for healing, such as pecan nut shell extract.

The shell represents about 50% of the pecan nut mass, only one part is sold as tea and the rest is treated as waste <sup>15</sup>. This by-product has high activity antioxidant, attributed to the high content of phenolic compounds present in its composition <sup>16,17</sup>. Because of this, pecan nut shell extract has been widely used as an additive in polymeric membranes, attributing bioactive characteristics to them, in addition to assigning value to the by-product <sup>15,18,19</sup>.

In this sense, the present work aimed to reuse agricultural waste to obtain a natural extract with great antioxidant properties to impregnate an AC and investigate the influence of this material in the physical and chemical characteristics of a gelatin-alternative wound dressing.

## **Materials and methods**

### **Materials**

The nut shells (*Carya illinoensis* K. Koch) were provided by a private rural property located in the Santa Flora district in Santa Maria, Rio Grande do Sul (29.88926, 53.87125). The AC and gelatin used were purchased from Êxodo and Vetec Química Fina, respectively.

### **Production of the pecan nut shell extract**

The nut shells were manually separated, sanitized with 2-2.5% (v/v) sodium hypochlorite solution, and washed with distilled water. The biomass was oven-dried (New Ethics, 109-1) at 40°C for 24 h <sup>17</sup>. Subsequently, the samples were ground in an analytical mill (IKA, a11BS32) and sieved to obtain particles >250 µm <sup>17</sup>.

The extraction of bioactive compounds was carried out in the proportion of 5:100 (g biomass: mL solvent), using ethanol 40% as a solvent (v/v) and the technique of solid-liquid maceration at 80°C for 2 h adapted from Valério Filho *et al.* (2022). The extracts were vacuum filtered and then rotary-evaporated. Finally, the extracts were stored at -18°C for 24h and then submitted to lyophilization (Terroni - LS3000) for 48h in a high vacuum ( $\cong 0.3$  mmHg) at -50°C.

### **Total phenolic content**

The total phenol content (TPC) of the extract was determined using the methodology purposed by Singleton e Rossi (1965), using the reagent *Folin-Ciocalteu*. First, the dry extract was solubilized in methanol at a proportion of 0.4 mg



mL<sup>-1</sup>. 0.5 mL of the extract and 10 mL of water were oxidized with 1 mL of the *Folin-Ciocalteu* reagent and the reaction was neutralized with 8 mL of saturated sodium carbonate (75 mg L<sup>-1</sup>). The samples were incubated for 2 h at room temperature. The absorbance of the solution was measured at 764 nm and the TPC was expressed in milligrams of acid gallic equivalents (GAE) per gram of the dry extract.

### **Antioxidant capacity (AA)**

For the DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) analysis, the dry extract was solubilized in methanol at the concentration of 0.2 mg mL<sup>-1</sup>. The method was performed through Band-Williams *et al.* (1995) methodology, using 200 µL of the natural extract and 7.8 mL of the DPPH reagent. The samples were kept in a dark environment for 30 min. The same was carried out using deionized water instead of the natural extract to obtain the control sample. The absorbance of the sample was measured using a UV-vis spectrophotometer (Kazuaki, II-226, China) at 517 nm. The results were obtained in triplicate and the free radicals captured by the DPPH ( $CCR_{DPPH}$ ) were calculated using Equation 1.

$$CCR_{DPPH}(\%) = \frac{Abs_{control} - Abs_{sample}}{Abs_{control}} \cdot 100 \quad (1)$$

where  $Abs_{control}$  is the absorbance of the control sample and the  $Abs_{sample}$  is the absorbance of the extract samples

FRAP (ferric reducing antioxidant power) method was carried out following the methodology purposed by Rufino *et al.* (2006). The dry extract was solubilized in the same concentration used for the TFC assay. Then 90 mL of the extract was mixed with 2.7 mL of the FRAP reagent and 2.7 mL of deionized water. The samples were kept in contact for 30 min at 37 °C and then the absorbance was read at 595 nm. The antioxidant capacity was obtained through a ferrous sulfate standard curve and the results were expressed in µM FeSO<sub>4</sub> g<sup>-1</sup>.

### **Impregnation of the AC with the extract**

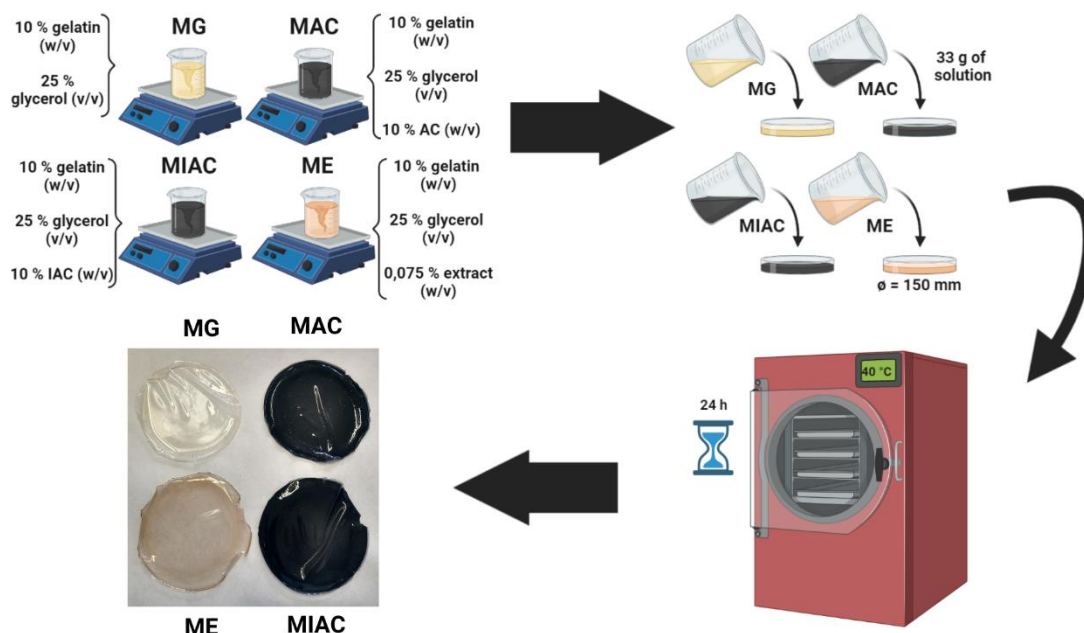
The impregnation of AC was carried out considering the principles of adsorption, a surface phenomenon in which the particles present in the liquid phase are attracted to the pores of the solid phase <sup>21</sup>. This process was performed following the methodology adapted from Keviyashri *et al.* (2021). The dried extract was solubilized using 0.01 g dry extract/mL distilled water. Then, 25 mL of the extract was kept in

contact with 1.25 g of AC under stirring in a shaker (NOVA ÉTICA, model 109-1) at 120 rpm for 90 min at room temperature. The samples were vacuum filtered and oven-dried at 40 °C for 24 h. The impregnated AC was called IAC. The adsorption of the phenolic compounds onto AC was evaluated through a kinetic study at different times (15 – 90 min) using Singleton e Rossi (1965) methodology.

### Membranes production

To produce de membranes, 10 % (w/v) of gelatin was hydrated in deionized water for 30 min at room temperature and then the solution was stirred (200 rpm) with a mechanic stirrer at 45 °C for 30 min. 25 % (v/v) of glycerol was added to the solution and kept under stirring for 15 min to allow plasticizing reactions. Finally, 33 g of the solution was transferred to Petri dishes (diameter 150 mm) and dried in an oven for 30 h at 40 °C. This membrane was called MG. The other membranes (MAC, ME, and MIAC) were produced using the same concentration of polymer and plasticizer, but with the addition of AC in MAC, IAC in MIAC, and pecan nutshell extract in ME, as shown in Figure 1.

Figure 1 – Schematic representation of the obtention of the gelatin membranes



## Characterization of the membranes

### Thickness

The thickness (T) of the films was measured using a digital micrometer (Insize-IP65, São Paulo, Brazil). The measurements were taken at ten random points of each membrane.

### Mechanical properties

The mechanical properties were analyzed through the parameters of tensile strength (TS) and elongation at break (E) using a texture analyzer (STABLE MICRO SYSTEM – TA.XT.plus, UK), according to the standard ASTM D882-18 (2018). Samples were submitted to a 50 N load with an initial grip separation of 25 mm and cross-head speed of 50 mm min<sup>-1</sup>.

### Water vapor permeability (WVP) and water transmission rate (WVTR)

The water vapor permeability (WVP) of the films was using the ASTM E96-16 (2016) methodology. The samples were kept in an incubator at 50 % RH at 25 °C. The weight increase regarding the anhydrous calcium chloride absorption was monitored for ten days and the WVP and WVTR were calculated using Equations 2 and 3, respectively.

$$WVP = \frac{w}{t} \frac{e}{a \Delta P} \quad (2)$$

$$WVTR = \frac{w}{t} \frac{e}{a} \quad (3)$$

where  $W$  is the absorbed moisture (g),  $t$  is the time (s),  $e$  is the thickness (m),  $a$  is the exposed film surface (m<sup>2</sup>), and  $\Delta P$  is the partial pressure difference (Pa).

### Swelling index

For the swelling index (SI) analysis, film samples of 1 cm<sup>2</sup> were dried at 40 °C for 2h, weighted, and immersed into 25 mL of water at determined times of (5 – 1140 min). The weight of the samples was determined after removing the excess surface water and the swelling index was calculated using Equation 4.

$$SI(\%) = \frac{m_f - m_i}{m_i} \cdot 100 \quad (4)$$

where  $m_i$  is the initial dry mass (g), and  $m_f$  is the final dry mass (g)

### Water solubility

The water solubility (WS) of the films was determined by the method adapted from Gontard and Guilbert (1992). The samples of 1 cm<sup>2</sup> were dried at 40 °C for 2 h, weighted to find the initial mass of the membranes, and then immersed in 25 mL of water and submitted to agitation using a shaker at 100 rpm at 25 °C for 24 h. Finally, the samples were dried and weighed to determine the final dry mass. The water solubility was calculated using Equation 5.

$$WS(\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i} \cdot 100 \quad (5)$$

where  $m_i$  is the initial dry mass (g), and  $m_f$  is the final dry mass (g)

### Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)

The functional groups present on the surface of the films were determined by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) (Shimadzu, IRspirit, Japan). A Perkin-Elmer spectrometer (UATR Two) was used in the range of 400 cm<sup>-1</sup> to 4000 cm<sup>-1</sup>, with 32 scans per spectrum and a resolution of 4 cm<sup>-1</sup>.

### Thermal gravimetric analysis (TGA)

The thermal stability of the films was analyzed through a thermal gravimetric analyzer (Shimadzu, TGA 50, Kyoto, Japan). Samples of 5 mg were heated in platinum capsules from 30 to 600 °C at a heating rate of 10 °C min<sup>-1</sup> using nitrogen as the purge gas at 50 mL min<sup>-1</sup>.

### Statistical analysis

The experimental data were obtained in triplicate and the significant differences between the means were analyzed through the Tukey test at  $p < 0.05$  using the Statistica software 10.0<sup>®</sup>.

## Results and discussion

### Characterization of the extract

According to the literature, pecan nutshell extract is a great resource of phenolic compounds, which are responsible for its high antioxidant activity<sup>19,24</sup>. The value obtained in this study for TPC was 1483.04 ± 55.36 mgGAE g<sup>-1</sup>, which is higher than values reported in the literature, such as Dórame-Miranda *et al* (2021), who found

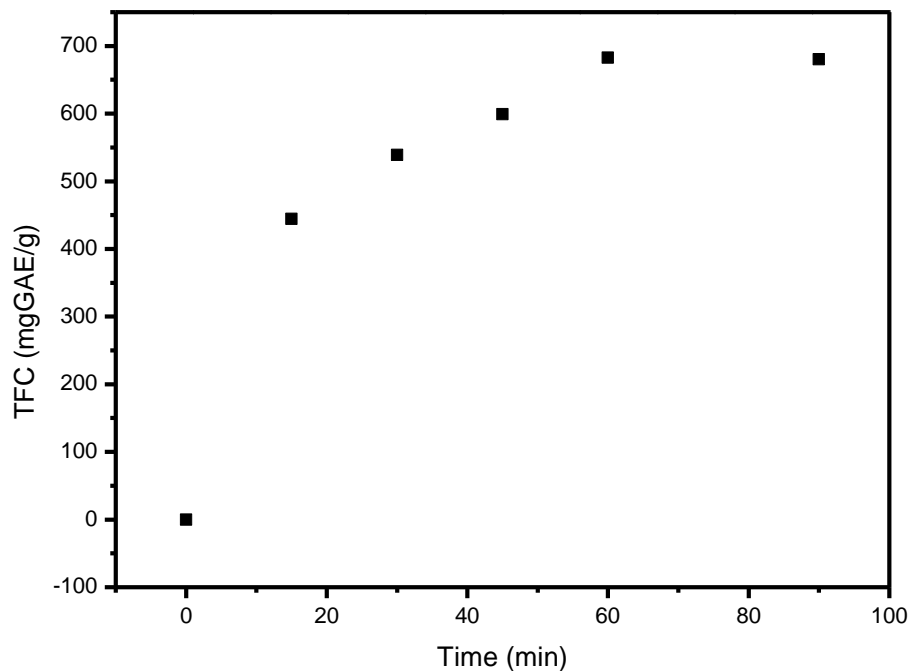
547.27 mgGAE g<sup>-1</sup> for TPC of alcoholic pecan nutshell extracts; and Contini *et al.* (2012) who found 680.3 mgGAE g<sup>-1</sup> for ethanolic extracts<sup>25,26</sup>. The values of AA by the methodologies of DPPH and FRAP were 38.94 ± 1.13 % and 5515.61 ± 69.73 µMFe g<sup>-1</sup>. The high value obtained through FRAP assay is attributed to a large number of phenolic compounds present in pecan nut shell extract, which are responsible for the antioxidant activity<sup>27</sup>. The low value obtained by DPPH scavenging activity can be attributed to the low concentration of the dry extract used in this analysis, as it shows a concentration response, which means that the higher the extract concentration, the higher the DPPH scavenging activity<sup>28,29</sup>. Also, the literature reports that the DPPH method is less sensitive than others used to evaluate antioxidant capacity, such as FRAP and ABTS<sup>30,31</sup>.

In the wound healing process, the human skin produces large amounts of reactive oxygen species that are responsible for degrading lipids, proteins, and nucleic acids, retarding the healing process<sup>29,32</sup>. In this sense, the presence of antioxidants in wound dressings can boost enzymatic repair and improve the metabolism, accelerating the process<sup>33,34</sup>.

### **Impregnation of the AC with the extract**

The adsorption of the phenolic compounds of the dry extract is presented in Figure 2. It can be observed that the amount of phenolic compounds present on the AC surface increased over time. Such a result infers that the impregnation occurred, and the IAC was obtained. Also, it is known that AC presents physicochemical characteristics, such as pore structure and surface chemistry, that influence the adsorption capacity of this adsorbent<sup>35</sup>. The characteristics of the adsorbate, such as molecular size, the solubility of the compounds, and dissociation properties, are also important in the adsorption process<sup>36</sup>. The phenolic compounds present in their composition substituent groups – such as chloro and nitro – are related to the adsorption as they cause alteration in the molecular properties of the adsorbate. The literature reports that the adsorption of phenolic compounds onto AC is favored by the introduction of electron-withdrawing properties of some groups such as nitrophenols and chlorophenols<sup>37</sup>.

Figure 2 – Adsorption of the phenolic compounds onto AC



### Obtaining and characterization of the membranes

Analyzing the materials obtained, it can be visually observed the difference between the color of the membranes, which is attributed to the addition of pecan nutshell extracts in ME, the AC in MAC, and IAC in MIAC. The dark color of the materials containing AC and IAC can contribute to the protection of the wound against the ultraviolet A (UVA (320-400 nm)) and B (UVB (290-320 nm)) radiation, as long-term exposure of the human skin to ultraviolet radiation can cause several problems such as edema, erythema, alter the immune response and so on. Due to the longer wavelength of UVA rays, they can penetrate through the skin and might be related to allergic reactions and actinic lesions. As the wounded skin is more sensitive than

healthy skin, these effects of UVA and UVB exposure are responsible for delaying the wound healing process<sup>38,39</sup>.

Also, a good wound dressing must present some essential physical characteristics, such as malleability, integrity, and uniformity, which are related to the characteristics of exudate absorption, moisture permeability, and adhesion to the skin<sup>6,40</sup>. These characteristics were evaluated through the characterization of the membranes, and the results are presented in Table 1.

Table 1 – Characteristics of the alternative wound dressings

	MG	MAC	MIAC	ME
T (mm)	0.44 <sup>a</sup> ± 0.13	0.47 <sup>a</sup> ± 0.05	0.47 <sup>a</sup> ± 0.07	0.36 <sup>a</sup> ± 0.05
E (%)	80.76 <sup>a</sup> ± 9.74	93.91 <sup>a</sup> ± 5.86	85.86 <sup>a</sup> ± 9.37	100.85 <sup>a</sup> ± 16.26
TS (MPa)	0.01 <sup>a</sup> ± 0.01	0.07 <sup>a</sup> ± 0.01	0.09 <sup>a</sup> ± 0.01	0.08 <sup>a</sup> ± 0.01
WS (%)	87.03 <sup>a</sup> ± 0.53	84.96 <sup>a</sup> ± 0.31	84.36 <sup>a</sup> ± 0.94	85.65 <sup>a</sup> ± 1.23
WVP (g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> Pa <sup>-1</sup> )	2.36 x 10 <sup>-5</sup> <sup>a</sup> ± 0.00	2.60 x 10 <sup>-5</sup> <sup>a</sup> ± 0.00	2.52 x 10 <sup>-5</sup> <sup>a</sup> ± 0.00	2.15 x 10 <sup>-5</sup> <sup>a</sup> ± 0.00
WVTR (g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	187.58 <sup>a</sup> ± 1.24	194.18 <sup>a</sup> ± 1.66	188.43 <sup>a</sup> ± 2.81	210.29 <sup>a</sup> ± 24.61

The letters in the exponent indicate significant differences ( $p < 0.05$ ) between the mean obtained by the Tukey test.

The Tukey test showed that for all the parameters analyzed and shown in Table 1, the results did not present significant differences. The results showed that the values of thickness were very similar to all the membranes.

The AC and IAC present water-insoluble hydrophobic characteristics, suggesting the creation of an insoluble protecting barrier for the material<sup>41</sup>. Solubility is an important parameter for a wound dressing as it indicates the stability of the material and water resistance, as it depends on the concentration of the components and also their hydrophilic and hydrophobic characteristic<sup>42</sup>. Also, the water solubility of a wound dressing is important because the degradation of the material must occur simultaneously with the wound healing process, preventing the substitution by a new one in a short time. The membranes did not show a disintegrated aspect after the

analysis, indicating that the high WS values might be related to the of glycerol to the surrounding water <sup>43</sup>.

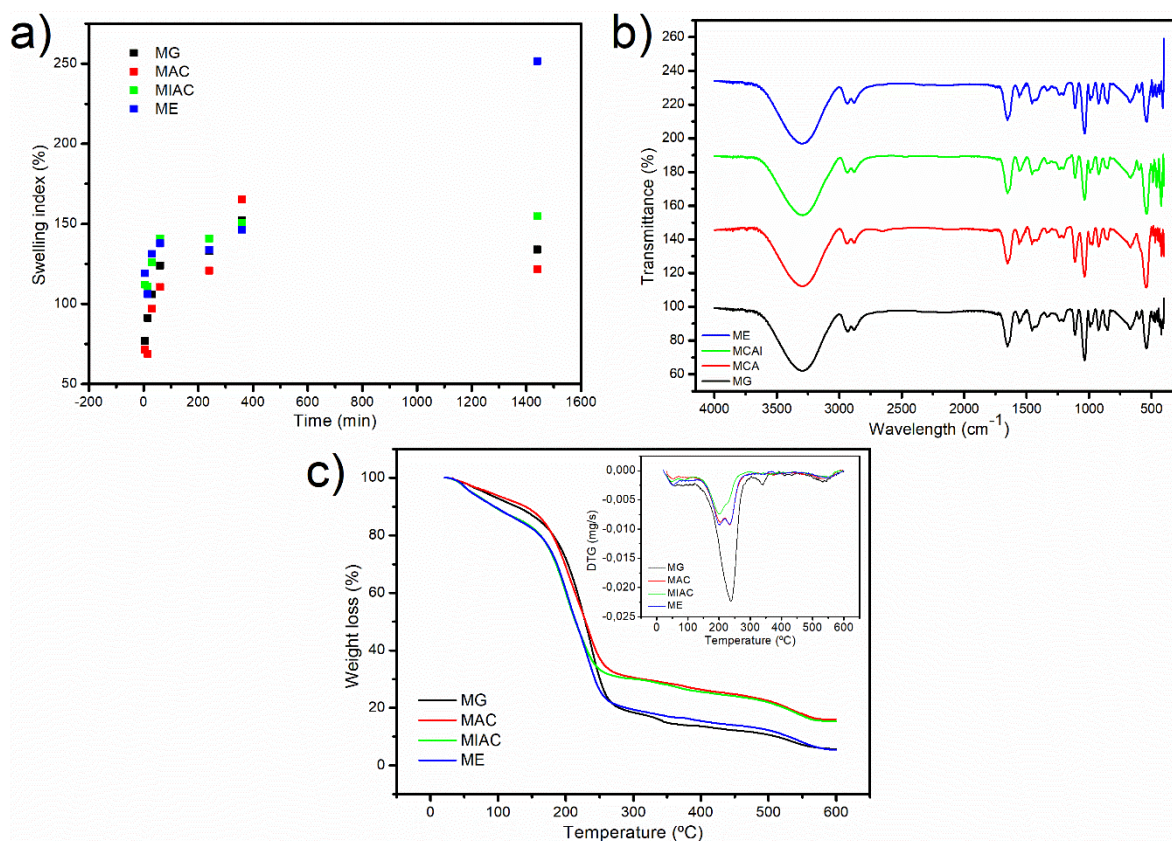
The values obtained for elongation at break suggest that the materials developed in this study were flexible, which is indicated for a wound dressing as it makes it durable <sup>3</sup>. The elongation at break is a parameter that influences the prediction of other properties such as elasticity, ductility, and brittleness of a membrane <sup>13</sup>. For a wound dressing, a high elongation (>50% of the original length) is considered positive as it suggests an easy degradation process, avoiding the person to feel pain upon removal of the wound dressing <sup>13,44</sup>. Commercial wound dressings usually present values of tensile strength of 0.1 – 0.33 MPa, which are in accordance with the values obtained in this study <sup>45,46</sup>.

The WVP and WVTR are important parameters for a wound dressing as they are related to the capability of the material to permit the evaporation of exudates and also provide the environment with moisture and free drainage to prevent the dehydration of the wound, which can delay the wound healing process <sup>47</sup>. The literature reports WVTR values in the range of 76 – 9360 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> <sup>48</sup>. Materials with WVTR lower than 300 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> are recommended for low exudate wounds, as a high WVTR may lead to the dehydration of the wound and cause the adhesion of the wound dressing to the wound surface <sup>49,50</sup>.

The swelling index may indicate the ability of the wound dressing to absorb the exudates released during the healing process <sup>47</sup>. The swelling index of the membranes is presented in Figure 3a. Water retention occurs due to the interactions between the polar groups of the polymer – such as plasticizer and substances from the extract – and the exudate fluids released during wound healing. Compared to the unharmed skin, the exudative fluids are considered to be alkaline or neutral, which can explain the highest value of the swelling index of 251.59 %, obtained for the membrane ME, as the acid compounds from the extract could neutralize or acidify the environment, thus increasing the water absorption <sup>3</sup>. The moderate water absorption of a wound dressing ( $\cong$  200 %) is recommended, providing the absorption of the exudate and also keeping a moisture environment for the healing process <sup>51</sup>.



Figure 3 – Swelling index (a), FTIR (b), and TGA (c) of the membranes



The FTIR spectra of all membranes (Figure 3b) presented the same bands and peaks of the control membrane (MG). Similar behavior of gelatin membranes containing glycerol and additives was already reported in the literature, which is attributed to the interaction between the biopolymer and plasticizing<sup>10,52</sup>. The band at the region of  $3600 - 3000 \text{ cm}^{-1}$  is a characteristic of gelatin and glycerol, representing the -OH groups and the stretching of N-H bonds of amine groups. The slight peaks at  $2928 \text{ cm}^{-1}$  and  $2872 \text{ cm}^{-1}$  represent the C-H from gelatin and glycerol. The peaks at the region of  $1655$ ,  $1555$ , and  $1217 \text{ cm}^{-1}$  represent the amide I (C=O stretching), II (N-H bending) and III (N-H stretching) groups, respectively<sup>53,54</sup>. The peak at  $1040 \text{ cm}^{-1}$  is related to the C-O bond present in both gelatin and glycerol. The O-H vibration is also present in pecan nutshell extract, as well as the C=O vibration<sup>25</sup>.

The thermal degradation of the membranes is shown by the thermograms presented in Figure 6. For all materials, the first weight loss can be observed around  $25 - 165 \text{ }^{\circ}\text{C}$  and represents the loss of free and bound water present in the material<sup>55</sup>. The release of moisture in low temperatures occurs due to the hygroscopic characteristics of the precursor material<sup>56</sup>. The second stage of weight loss for all the membranes appeared at  $\cong 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$  and represents the degradation or decomposition

of lower molecular weight protein fractions, glycerol, some natural compounds present in the extract, and structurally bound water<sup>57-59</sup>. The third degradation stage is observed at  $\cong 300$  °C and is associated with the degradation of gelatin with a larger size<sup>55</sup>. The samples containing AC, IAC, and extract showed higher thermal stability, with smaller degradation peaks in DTG. For the films containing extract, it is explained by the high amount of bounding between the phenolic compounds from the extract and gelatin, resulting in a stronger film network<sup>57</sup>. The increase in the mass loss for MAC and MIAC at  $\cong 400$  °C is due to the removal of volatiles and residual organic matter<sup>60</sup>. Thus, it is observed that the additives increased the thermal stability of the materials.

## Conclusion

The pecan nutshell is a residue with great potential to be applied in wound dressings, due to the high phenolic content and antioxidant capacity of the extract. According to the results obtained in this work, the AC can be used as a carrier for the phenolic compounds of the extract, since the kinetics of adsorption showed an increase in the presence of phenolic compounds on AC over time. The analysis of the gelatin membranes developed in this study showed that the addition of the additives AC, IAC, and pecan nutshell extract did not affect negatively the mechanical and physical properties of the materials obtained, considering their use as an alternative wound dressing. In this sense, the materials produced show a potential to be used in further studies regarding the investigation of other important properties for a wound dressing, such as antimicrobial and antioxidant capacities.

## References

1. Alzarea AI, Alruwaili NK, Ahmad MM, et al. Development and Characterization of Gentamicin-Loaded Arabinoxylan-Sodium Alginate Films as Antibacterial Wound Dressing. *Int J Mol Sci*; 23. Epub ahead of print 2022. DOI: 10.3390/ijms23052899.
2. Rezvani Ghomi E, Khalili S, Nouri Khorasani S, et al. Wound dressings: Current advances and future directions. *J Appl Polym Sci* 2019; 136: 1–12.
3. Do Nascimento MF, Cardoso JC, Santos TS, et al. Development and characterization of biointeractive gelatin wound dressing based on extract of *Punica granatum* linn. *Pharmaceutics* 2020; 12: 1–18.
4. Zarrintaj P, Moghaddam AS, Manouchehri S, et al. Can regenerative medicine

- and nanotechnology combine to heal wounds? the search for the ideal wound dressing. *Nanomedicine* 2017; 12: 2403–2422.
5. Rihayat T, Suryani S, Siregar JP, et al. Wound Dressing Based on Banana Peels Waste and Chitosan by Strengthening Lignin as Wound Healing Medicine. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*; 506. Epub ahead of print 2019. DOI: 10.1088/1757-899X/506/1/012056.
  6. Li X, Ma M, Ahn DU, et al. Preparation and characterization of novel eggshell membrane-chitosan blend films for potential wound-care dressing: From waste to medicinal products. *Int J Biol Macromol* 2019; 123: 477–484.
  7. Fahimirad S, Ajalloueiian F. Naturally-derived electrospun wound dressings for target delivery of bio-active agents. *Int J Pharm* 2019; 566: 307–328.
  8. Guerrero P, Stefani PM, Ruseckaite RA, et al. Functional properties of films based on soy protein isolate and gelatin processed by compression molding. *J Food Eng* 2011; 105: 65–72.
  9. Monroy DAP, Bravo JMC, Mercado IES, et al. Gelatin and Collagen Nanofiber Scaffolds for Tissue Engineering. In: *Tissue Regeneration*. 2018, pp. 13–25.
  10. Hubner P, Donati N, Quines LK de M, et al. Gelatin-based films containing clinoptilolite-Ag for application as wound dressing. *Mater Sci Eng C* 2020; 107: 15.
  11. Kavooosi G, Dadfar SMM, Purfard AM. Mechanical, Physical, Antioxidant, and Antimicrobial Properties of Gelatin Films Incorporated with Thymol for Potential Use as Nano Wound Dressing. *J Food Sci*; 78. Epub ahead of print 2013. DOI: 10.1111/1750-3841.12015.
  12. De Almeida EB, Cordeiro Cardoso J, Karla De Lima A, et al. The incorporation of Brazilian propolis into collagen-based dressing films improves dermal burn healing. *J Ethnopharmacol* 2013; 147: 419–425.
  13. Thu HE, Zulfakar MH, Ng SF. Alginate based bilayer hydrocolloid films as potential slow-release modern wound dressing. *Int J Pharm* 2012; 434: 375–383.
  14. Kim MH, Cho D, Kwon OH, et al. Thermal fabrication and characterization of Ag nanoparticle-activated carbon composites for functional wound-dressing additives. *J Alloys Compd* 2018; 735: 2670–2674.
  15. Villasante J, Martin-Lujano A, Almajano MP. Characterization and application of gelatin films with pecan walnut and shell extract (*Carya illinoensis*).

- Polymers (Basel)*; 12. Epub ahead of print 2020. DOI: 10.3390/polym12061424.
16. Ribeiro PCE, de Britto Policarpi P, Dal Bo A, et al. Impact of pecan nut shell aqueous extract on the oxidative properties of margarines during storage. *J Sci Food Agric* 2017; 97: 3005–3012.
  17. Valério Filho A, Avila LB, Lacorte DH, et al. Brazilian Agroindustrial Wastes as a Potential Resource of Bioactive Compounds and Their Antimicrobial and Antioxidant Activities. *Molecules*; 27. Epub ahead of print 2022. DOI: 10.3390/molecules27206876.
  18. Arciello A, Panzella L, Dell’Olmo E, et al. Development and characterization of antimicrobial and antioxidant whey protein-based films functionalized with Pecan (*Carya illinoensis*) nut shell extract. *Food Packag Shelf Life* 2021; 29: 100710.
  19. Leon-Bejarano M, Durmus Y, Ovando-Martínez M, et al. Physical, barrier, mechanical, and biodegradability properties of modified starch films with nut by-products extracts. *Foods* 2020; 9: 1–17.
  20. Rufino M do SM, Alves RE, Brito ES de, et al. Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pelo Método de Redução do Ferro (FRAP). *Comun Técnico, 125 Embrapa* 2006; 3–6.
  21. Abdulsahib WK, Sahib HH, Mahdi MA, et al. Adsorption Study of Cephalixin Monohydrate Drug in Solution on Poly (vinyl pyrrolidone-acryl amide) Hydrogel Surface. *Int J Drug Deliv Technol* 2021; 11: 1169–1172.
  22. Keviyashri Y, S. MS, Arunachalam T, et al. Potential of keratin loaded activated carbon and aqueous extracts of *Allium sativum* for the development of antibacterial wound dressing. *Mater Today Proc* 2021; 47: 321–325.
  23. GONTARD N, GUILBERT S, CUQ J -L. Edible Wheat Gluten Films: Influence of the Main Process Variables on Film Properties using Response Surface Methodology. *J Food Sci* 1992; 57: 190–195.
  24. Amaral AA do, Schuster GC, Boschen NL, et al. Antioxidant Evaluation of Extracts of Pecan NutShell (*Carya illinoensis*) in Soybean Biodiesel B100. *Glob Challenges* 2019; 3: 1900001.
  25. Dórame-Miranda RF, Gámez-Meza N, Ovando-Martínez M, et al. Encapsulation of Sardine Oil by Electrospraying with Gliadins and Pecan Nutshell Extracts for its Stabilization. *Food Bioprocess Technol* 2021; 14: 457–

- 470.
26. Contini M, Baccelloni S, Frangipane MT, et al. Increasing espresso coffee brew antioxidant capacity using phenolic extract recovered from hazelnut skin waste. *J Funct Foods* 2012; 4: 137–146.
  27. Hilbig J, Alves VR, Müller CMO, et al. Ultrasonic-assisted extraction combined with sample preparation and analysis using LC-ESI-MS/MS allowed the identification of 24 new phenolic compounds in pecan nut shell [*Carya illinoensis* (Wangenh) C. Koch] extracts. *Food Res Int* 2018; 106: 549–557.
  28. Amensour M, Sendra E, Abrini J, et al. Natural Product Communications Total Phenolic Content and Antioxidant Activity of Myrtle (*Myrtus communis*) Extracts. *Nat Prod Commun* 2009; 4: 819–824.
  29. Bagheri M, Validi M, Gholipour A, et al. Chitosan nanofiber biocomposites for potential wound healing applications: Antioxidant activity with synergic antibacterial effect. *Bioeng Transl Med* 2022; 7: 1–15.
  30. Mazaheri-Tirani M, Dayani S. In vitro effect of zinc oxide nanoparticles on *Nicotiana tabacum* callus compared to ZnO micro particles and zinc sulfate ( $ZnSO_4$ ). *Plant Cell Tissue Organ Cult* 2020; 140: 279–289.
  31. Shalaby EA, Shanab SMM. Antioxidant compounds, assays of determination and mode of action Emad. *African J Pharm Pharmacol* 2013; 7: 528–539.
  32. André-Lévigne D, Modarressi A, Pepper MS, et al. Reactive oxygen species and NOX enzymes are emerging as key players in cutaneous wound repair. *Int J Mol Sci* 2017; 18: 2149.
  33. Fitzmaurice SD, Sivamani RK, Isseroff RR. Antioxidant therapies for wound healing: A clinical guide to currently commercially available products. *Skin Pharmacol Physiol* 2011; 24: 113–126.
  34. Deng L, Du C, Song P, et al. The Role of Oxidative Stress and Antioxidants in Diabetic Wound Healing. *Oxid Med Cell Longev* 2021; 2021: 1–11.
  35. Terzyk AP. Molecular properties and intermolecular forces - Factors balancing the effect of carbon surface chemistry in adsorption of organics from dilute aqueous solutions. *J Colloid Interface Sci* 2004; 275: 9–29.
  36. Mu'azu ND, Jarrah N, Zubair M, et al. Removal of phenolic compounds from water using sewage sludge-based activated carbon adsorption: A review. *Int J Environ Res Public Health* 2017; 14: 1–34.
  37. Masomi M, Goreyshi AA, Najafpour GD, et al. Adsorption of Phenolic

- Compounds onto the Activated Carbon Synthesized from Pulp and Paper Mill Sludge: Equilibrium Isotherm, Kinetics, Thermodynamics and Mechanism Studies. *Int J Eng* 2014; 27: 1485–1494.
38. Biranje SS, Madiwale P V., Patankar KC, et al. Hemostasis and anti-necrotic activity of wound-healing dressing containing chitosan nanoparticles. *Int J Biol Macromol* 2019; 121: 936–946.
  39. Korać RR, Khambholja KM. Potential of herbs in skin protection from ultraviolet radiation. *Pharmacogn Rev* 2011; 5: 164–173.
  40. Nguyen TNT, Do TBT, Ho MH, et al. Investigating the effect of multi-coated hydrogel layer on characteristics of electrospun PCL membrane coated with gelatin/silver nanoparticles for wound dressing application. *J Biomed Mater Res - Part A* 2021; 109: 2414–2424.
  41. Kwasniewska A, Swietlicki M, Prószyński A, et al. Physical Properties of Starch/Powdered Activated Carbon Composite Films. 13.
  42. Amalraj A, Raj KKJ, Haponiuk JT, et al. Preparation, characterization, and antimicrobial activity of chitosan/gum arabic/polyethylene glycol composite films incorporated with black pepper essential oil and ginger essential oil as potential packaging and wound dressing materials. *Adv Compos Hybrid Mater* 2020; 3: 485–497.
  43. Vieira TM, Moldão-Martins M, Alves VD. Design of chitosan and alginate emulsion-based formulations for the production of monolayer crosslinked edible films and coatings. *Foods*; 10. Epub ahead of print 2021. DOI: 10.3390/foods10071654.
  44. Boateng JS, Matthews KH, Stevens HNE, et al. Wound healing dressings and drug delivery systems: A review. *J Pharm Sci* 2008; 97: 2892–2923.
  45. Lee SM, Park IK, Kim YS, et al. Physical, morphological, and wound healing properties of a polyurethane foam-film dressing. *Biomater Res* 2016; 20: 1–11.
  46. Nakajima K, Inaki A, Hiramatsu T, et al. Esophageal transit scintigraphy and structured questionnaire in patients with systemic sclerosis with endoscopically proven reflux esophagitis. *Ann Nucl Med* 2009; 23: 771–776.
  47. Koosehbol S, Ebrahimian-Hosseiniabadi M, Alizadeh M, et al. Preparation and characterization of in situ chitosan/polyethylene glycol fumarate/thymol hydrogel as an effective wound dressing. *Mater Sci Eng C* 2017; 79: 66–75.
  48. Altiok D, Altiok E, Tihminlioglu F. Physical, antibacterial and antioxidant

- properties of chitosan films incorporated with thyme oil for potential wound healing applications. *J Mater Sci Mater Med* 2010; 21: 2227–2236.
49. Yari A, Yeganeh H, Bakhshi H, et al. Preparation and characterization of novel antibacterial castor oil-based polyurethane membranes for wound dressing application. *J Biomed Mater Res - Part A* 2013; 102: 84–96.
  50. Seaman S. Dressing selection in chronic wound management. *J Am Podiatr Med Assoc* 2002; 92: 24–33.
  51. Shojaee M, Navaee F, Jalili-Firoozinezhad S, et al. Fabrication and characterization of ovalbumin films for wound dressing applications. *Mater Sci Eng C* 2015; 48: 158–164.
  52. Hu X, Yuan L, Han L, et al. Characterization of antioxidant and antibacterial gelatin films incorporated with: Ginkgo biloba extract. *RSC Adv* 2019; 9: 27449–27454.
  53. Dong Z, Wang Q, Du Y. Alginate/gelatin blend films and their properties for drug controlled release. *J Memb Sci* 2006; 280: 37–44.
  54. Saghir S, Iqbal MS, Koschella A, et al. Ethylation of arabinoxylan from Ispaghula (*Plantago ovata*) seed husk. *Carbohydr Polym* 2009; 77: 125–130.
  55. Tongnuanchan P, Benjakul S, Prodpran T, et al. Emulsion film based on fish skin gelatin and palm oil: Physical, structural and thermal properties. *Food Hydrocoll* 2015; 48: 248–259.
  56. Ahmadi S, Hivechi A, Bahrami SH, et al. Cinnamon extract loaded electrospun chitosan/gelatin membrane with antibacterial activity. *Int J Biol Macromol* 2021; 173: 580–590.
  57. Hoque MS, Benjakul S, Prodpran T. Properties of film from cuttlefish (*Sepia pharaonis*) skin gelatin incorporated with cinnamon, clove and star anise extracts. *Food Hydrocoll* 2011; 25: 1085–1097.
  58. Danish M, Ahmad T. A review on utilization of wood biomass as a sustainable precursor for activated carbon production and application. *Renew Sustain Energy Rev* 2018; 87: 1–21.
  59. Ahmad M, Benjakul S, Prodpran T, et al. Physico-mechanical and antimicrobial properties of gelatin film from the skin of unicorn leatherjacket incorporated with essential oils. *Food Hydrocoll* 2012; 28: 189–199.
  60. Pagno V, Módenes AN, Dragunski DC, et al. Heat treatment of polymeric PBAT/PCL membranes containing activated carbon from Brazil nutshell

biomass obtained by electrospinning and applied in drug removal. *J Environ Chem Eng*; 8. Epub ahead of print 2020. DOI: 10.1016/j.jece.2020.104159.



## 5 CONCLUSÃO

A obtenção do extrato natural da casca de noz-pecã mostrou-se como uma alternativa para a reutilização desse resíduo, tendo em vista os valores elevados obtidos nas caracterizações realizadas no presente estudo, sendo eles de 1483,04 mgGAE g<sup>-1</sup> para compostos fenólicos totais e 5515,61 µMFe g<sup>-1</sup> e 31,91 % para atividade antioxidante pelas metodologias de FRAP e DPPH, respectivamente.

A adsorção dos compostos fenólicos totais foi comprovada a partir dos resultados apresentados na curva de cinética, visto que o teor de compostos fenólicos presentes no CA aumentou ao decorrer do tempo. A adsorção de compostos fenólicos por CA é favorecida pela presença de grupos como nitrofenóis e clorofenóis presentes no adsorvato.

As caracterizações das membranas produzidas pela metodologia de *casting* utilizando gelatina como polímero e glicerol como plastificante indicaram que os materiais obtidos mostraram-se resistentes e flexíveis, além de apresentar valores de solubilidade, permeabilidade ao vapor de água e intumescimento dentro dos padrões aceitáveis para a aplicação como curativo. O uso de IAC como aditivo não provocou alterações negativas nas propriedades analisadas, e, além disso, resultou na obtenção de materiais com potencial proteção contra raios UVB.

De acordo com esses resultados, o presente estudo mostrou que o uso do extrato da casca de noz-pecã é uma alternativa para agregar valor ao produto e que o CA apresenta potencial para ser utilizado como transporte para compostos fenólicos presentes no extrato. Além disso, os materiais apresentaram características físicas e químicas positivas para um curativo alternativo, que foram mantidas mesmo após a adição de IAC. Sendo assim, recomenda-se a continuidade do presente estudo avaliando outras propriedades dos materiais desenvolvidos, como atividades antioxidante e antimicrobiana.

## 6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Visando a continuidade do presente estudo, sugere-se para trabalhos futuros:

- a) Análise HPLC para obter conhecimento mais aprofundado sobre os compostos presentes no extrato;
- b) Estudos mais aprofundados sobre a adsorção dos compostos fenólicos presentes no extrato pelo CA, incluindo ensaios de cinética, equilíbrio e termodinâmica;
- c) Análise colorimétrica das membranas;
- d) Análise da morfologia dos materiais pela técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV);
- e) Estudos sobre a liberação controlada dos compostos fenólicos presentes nas membranas;
- f) Análise de propriedades antioxidantes e antimicrobianas das membranas.

## REFERÊNCIAS

- ABBASI, A. R. *et al.* Bioinspired sodium alginate based thermosensitive hydrogel membranes for accelerated wound healing. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 155, p. 751–765, 2020.
- AHMAD, M. *et al.* Physico-mechanical and antimicrobial properties of gelatin film from the skin of unicorn leatherjacket incorporated with essential oils. **Food Hydrocolloids**, v. 28, n. 1, p. 189–199, 2012.
- AHMADI, S. *et al.* Cinnamon extract loaded electrospun chitosan/gelatin membrane with antibacterial activity. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 173, p. 580–590, 2021.
- AHMED, M. *et al.* Microwave assisted digestion followed by ICP-MS for determination of trace metals in atmospheric and lake ecosystem. **Journal of Environmental Sciences (China)**, v. 55, p. 1–10, 2017.
- ALASALVAR, C.; BOLLING, B. W. Review of nut phytochemicals, fat-soluble bioactives, antioxidant components and health effects. **British Journal of Nutrition**, v. 113, n. S2, p. S68–S78, 2015.
- ALASALVAR, C.; SALVADÓ, J. S.; ROS, E. Bioactives and health benefits of nuts and dried fruits. **Food Chemistry**, v. 314, n. December 2019, p. 126192, 2020.
- ALASALVAR, Cesarettin; SHAHIDI, Fereidoon. **Tree nuts: Composition, phytochemicals, and health effects: An overview**. CRC press, 2008.
- ALBORZI, Z.; IZADI-VASAFI, H.; GHAYOUMI, F. Wound dressings based on chitosan and gelatin containing starch, sesame oil and banana peel powder for the treatment of skin burn wounds. **Journal of Polymer Research**, v. 28, n. 2, p. 1–16, 2021.
- ALI, I. H. *et al.* Antimicrobial and Wound-Healing Activities of Graphene-Reinforced Electrospun Chitosan/Gelatin Nanofibrous Nanocomposite Scaffolds. **ACS Omega**, v. 7, n. 2, p. 1838–1850, 2022.
- ALZAREA, A. I. *et al.* Development and Characterization of Gentamicin-Loaded Arabinoxylan-Sodium Alginate Films as Antibacterial Wound Dressing. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 5, 2022.
- AMARAL, A. A. DO *et al.* Antioxidant Evaluation of Extracts of Pecan NutShell (*Carya illinoensis*) in Soybean Biodiesel B100. **Global Challenges**, v. 3, n. 11, p. 1900001, 2019.
- AMBROGI, V. *et al.* Biocompatible alginate silica supported silver nanoparticles composite films for wound dressing with antibiofilm activity. **Materials Science and Engineering C**, v. 112, n. January, p. 110863, 2020.

ANDRÉ-LÉVIGNE, D. *et al.* Reactive oxygen species and NOX enzymes are emerging as key players in cutaneous wound repair. **International Journal of Molecular Sciences**, v.18, n.10, p. 2149, 2017.

ANTONIO CARLOS LIGOCKI CAMPOS; BORGES-BRANCO, A.; GROTH, A. K. Cicatrização de feridas. **ABCD. Arquivos Brasileiros de Cirurgia Digestiva**, v. 20, n. 1, p. 51–58, 2007.

ARCIELLO, A. *et al.* Development and characterization of antimicrobial and antioxidant whey protein-based films functionalized with Pecan (*Carya illinoensis*) nut shell extract. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 29, n. February, p. 100710, 2021.

ARVANITOYANNIS, I. S.; KASSAVETI, A. Current and potential uses of composted olive oil waste. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 42, n. 3, p. 281–295, mar. 2007.

ARVANITOYANNIS, I. S.; NAKAYAMA, A.; AIBA, S. ICHI. Chitosan and gelatin based edible films: State diagrams, mechanical and permeation properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 37, n. 4, p. 371–382, 1998.

ASTM. **Standard test methods for tensile properties on thin plastic sheeting**. Método: D882. Philadelphia: American Society for Testing Materials, 2018.

ASTM. **Standard test methods for tensile properties on thin plastic sheeting**. Método: E96/96. Philadelphia: American Society for Testing Materials, 2016.

ATANASOV, A. G. *et al.* Pecan nuts: A review of reported bioactivities and health effects. **Trends in Food Science and Technology**, v. 71, p. 246–257, 2018.

AVILA, L. B. *et al.* Carrageenan-based films incorporated with jaboticaba peel extract: An innovative material for active food packaging. **Molecules**, v. 25, n. 23, 2020a.

AVILA, L. B. *et al.* Recovery of bioactive compounds from jaboticaba peels and application into zein ultrafine fibers produced by electrospinning. **Polymers**, v. 12, n. 12, p. 1–19, 2020b.

BABY, Rabia; SAIFULLAH, Bullo; HUSSEIN, Mohd Zobir. Carbon nanomaterials for the treatment of heavy metal-contaminated water and environmental remediation. **Nanoscale research letters**, v. 14, n. 1, p. 1-17, 2019.

BASÍLIO, Jacqueline Arantes Diniz. **Desenvolvimento e avaliação in vitro da atividade cicatrizante de membranas poliméricas incorporadas com própolis vermelha**. 2018. Tese (Doutorado na Rede Nordeste de Biotecnologia: Biotecnologia na Saúde) - Universidade Federal de Alagoas. Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da Rede Nordeste em Biotecnologia, Maceió, 2018.

BATEMAN, John F.; LAMANDE, Shireen R.; RAMSHAW, John AM. Collagen superfamily. **Extracellular matrix**, v. 2, p. 22-67, 1996.

BEATRIZ, A.; ARAÚJO, Y. J. K.; LIMA, D. P. Glicerol: Um breve histórico e aplicação em sínteses estereosseletivas. **Química Nova**, v. 34, n. 2, p. 306–319, 2011.

BERTAN, L. C. **Desenvolvimento e caracterização de filmes simples e compostos base de gelatina, ácidos graxos e breu branco**. 2003. Tese (Mestrado em Alimentos e Nutrição) - Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, 2003.

BHATIA, Saurabh. Natural polymers vs synthetic polymer. In: **Natural Polymer Drug Delivery Systems**. Springer, Cham, 2016. p. 95-118.

BOATENG, J. S. *et al.* Wound healing dressings and drug delivery systems: A review. **Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 97, n. 8, p. 2892–2923, 2008.

BOCQUÉ, M. *et al.* Petro-based and bio-based plasticizers: Chemical structures to plasticizing properties. **Journal of Polymer Science, Part A: Polymer Chemistry**, v. 54, n. 1, p. 11–33, 2016.

BODOIRA, R.; MAESTRI, D. Phenolic Compounds from Nuts: Extraction, Chemical Profiles, and Bioactivity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 68, n. 4, p. 927–942, 2020.

BOHJANEN, Kimberly. **Estrutura e funções da pele**. Dermatologia Clínica, [S. l.], 2015.

BOROJEVIC, R.; SERRICELLA, P. Próteses vivas de pele humana. **Biociência e Desenvolvimento**, n. 7, p. 16–18, 1999.

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.

CAMPOS, M. *et al.* Antibacterial activity of chitosan solutions for wound dressing. **Macromolecular Symposia**, v. 245–246, p. 515–518, 2006.

CAMPOS, Maria Gabriela Nogueira. **Desenvolvimento e caracterização de membranas de quitosana para recobrimento de feridas e liberação controlada de fármacos**. 2007. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Materiais) - Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Química, Campinas, 2007.

*CARYA illinoensis* (pecan tree). **Wikimedia commons**, 2005.

CAXAMBÚ, S. *et al.* Evaluation of the antimicrobial activity of pecan nut [*Carya illinoensis* (Wangenh) C. Koch] shell aqueous extract on minimally processed lettuce leaves. **Food Science and Technology (Brazil)**, v. 36, p. 42–45, 2016.

CHIN, C. Y.; GAN, J. E. Formulation and characterisation of alginate hydrocolloid film dressing loaded with gallic acid for potential chronic wound healing. **F1000Research**, v. 10, p. 1–16, 2021.

COUTINHO, Suellen Veloso Côrte Real. **Reticulação e análise de COF em filmes de polietileno**. 2021. Tese (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal da Paraíba. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, João Pessoa, 2021.

D.H. EVERETT. Manual of Symbols and Terminology for Physicochemical Quantities and Units, Appendix II: Definitions, Terminology and Symbols in Colloid and Surface Chemistry. **Pure and Applied Chemistry**, v. 31, n. 4, p. 577–638, 1972.

DA ROSA, G. S. *et al.* Comparison of microwave, ultrasonic and conventional techniques for extraction of bioactive compounds from olive leaves (*Olea europaea* L.). **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 58, p. 102-234, 2019.

DA SILVA, E. O. *et al.* Removal of methylene blue from aqueous solution by ryegrass straw. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 8, n. 10, p. 3723–3740, jun. 2020.

DANISH, M.; AHMAD, T. A review on utilization of wood biomass as a sustainable precursor for activated carbon production and application. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 87, n. April 2017, p. 1–21, 2018.

DE ALMEIDA, E. B. *et al.* The incorporation of Brazilian propolis into collagen-based dressing films improves dermal burn healing. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 147, n. 2, p. 419–425, 2013.

DE WOLF, F. A. Collagen and gelatin. In: **Progress in Biotechnology**. [s.l: s.n.]. v. 23, p. 132–218, 2003.

DJAGNY, K. B.; WANG, Z.; XU, S. Gelatin: A valuable protein for food and pharmaceutical industries: Review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 41, n. 6, p. 481–492, 2001.

DO NASCIMENTO, M. F. *et al.* Development and characterization of biointeractive gelatin wound dressing based on extract of *Punica granatum* linn. **Pharmaceutics**, v. 12, n. 12, p. 1–18, 2020.

DO PRADO, A. C. P. *et al.* Effect of the extraction process on the phenolic compounds profile and the antioxidant and antimicrobial activity of extracts of pecan nut [*Carya illinoensis* (Wangenh) C. Koch] shell. **Industrial Crops and Products**, v. 52, p. 552 – 561, 2014.

DÓRAME-MIRANDA, R. F. *et al.* Encapsulation of Sardine Oil by Electrospraying with Gliadins and Pecan Nutshell Extracts for its Stabilization. **Food and Bioprocess Technology**, v. 14, n. 3, p. 457–470, 2021.

EPURE, V. *et al.* Structure and properties of glycerol-plasticized chitosan obtained by mechanical kneading. **Carbohydrate Polymers**, v. 83, n. 2, p. 947–952, 2011.

EVANS, J.; FLAVIN, S. Honey: a guide for healthcare professionals. **British journal of nursing (Mark Allen Publishing)**, v. 17, n. 15, 2008.

- EYSTURSKARD, J. *et al.* Mechanical properties of mammalian and fish gelatins based on their weight average molecular weight and molecular weight distribution. **Food Hydrocolloids**, v. 23, n. 8, p. 2315–2321, 2009.
- FAHIMIRAD, S.; AJALLOUEIAN, F. Naturally-derived electrospun wound dressings for target delivery of bio-active agents. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 566, n. May, p. 307–328, 2019.
- FRANCO, D.; GONÇALVES, L. F. Feridas cutâneas: a escolha do curativo adequado. **Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgões**, v. 35, n. 3, p. 203–206, 2008.
- FRANCO, Patrícia Battaglini. **Desenvolvimento e caracterização de membranas de quitosana e casca de banana verde para cicatrização de feridas cutâneas**. 2014. Tese (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 2014.
- FREITAS, Fabiana Paiva de. **Resíduo madeieiro para síntese de carvão ativado e compósitos à base de quitosana**. 2020. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2020.
- FREITAS, J. B.; NAVES, M. M. V. Composição química de nozes e sementes comestíveis e sua relação com a nutrição e saúde. **Revista de Nutrição**, v. 23, n. 2, p. 269–279, 2010.
- FEGAN, Katie. Gelatin. **ChemBAM: Bringing chemistry to life**, 2021.
- GIRAUDIER, S. *et al.* Influence of weak and covalent bonds on formation and hydrolysis of gelatin networks. **Biomacromolecules**, v. 5, n. 5, p. 1662–1666, 2004.
- GONTARD, N.; GUILBERT, S.; CUQ, J. L. Edible Wheat Gluten Films: Influence of the Main Process Variables on Film Properties using Response Surface Methodology. **Journal of Food Science**, [S. l.], v. 57, n. 1, p. 190–195, jan. 1992.
- GONZÁLEZ-GARCÍA, P. Activated carbon from lignocellulosics precursors: A review of the synthesis methods, characterization techniques and applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, n. August 2017, p. 1393–1414, 2018.
- GUERRERO, P. *et al.* Functional properties of films based on soy protein isolate and gelatin processed by compression molding. **Journal of Food Engineering**, v. 105, n. 1, p. 65–72, 2011.
- GURTNER, G. C. *et al.* Wound repair and regeneration. **Nature**, v. 453, n. 7193, p. 314–321, 2008.
- HANG, J. H. **Innovations in Food Packaging**. [s.l.], Elsevier, 2005.
- HISSE YASSUE-CORDEIRO, Patricia *et al.* Development of chitosan/silver sulfadiazine/zeolite composite films for wound dressing. **Pharmaceutics**, v. 11, n. 10, p. 535, 2019.

- HUBNER, Patricia. **Desenvolvimento de filmes de gelatina contendo zeólita clinoptilolita impregnada com íons prata e avaliação das propriedades antimicrobianas**. 2017. Tese (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Porto Alegre, 2017.
- HUBNER, P. *et al.* Gelatin-based films containing clinoptilolite-Ag for application as wound dressing. **Materials Science and Engineering C**, v. 107, n. October 2019, p. 15, 2020.
- ILLSLEY, M. J. *et al.* Activated carbon-plasticised agarose composite films for the adsorption of thiol as a model of wound malodour. **Journal of Materials Science: Materials in Medicine**, v. 28, n. 10, p. 1–6, 2017.
- INAGAKI, M.; TASCÓN, J. M. D. Pore formation and control in carbon materials. In: **Interface Science and Technology**. Elsevier, 2006. p. 49-105.
- JAMARANI, R. *et al.* How green is your plasticizer? **Polymers**, v. 10, n. 8, p. 1–17, 2018.
- KAMEL, N. A.; ABD EL-MESSIEH, S. L.; SALEH, N. M. Chitosan/banana peel powder nanocomposites for wound dressing application: Preparation and characterization. **Materials Science and Engineering C**, v. 72, p. 543–550, 2017.
- KAVOOSI, G.; DADFAR, S. M. M.; PURFARD, A. M. Mechanical, Physical, Antioxidant, and Antimicrobial Properties of Gelatin Films Incorporated with Thymol for Potential Use as Nano Wound Dressing. **Journal of Food Science**, v. 78, n. 2, 2013.
- KERIHUEL, J. C. Charcoal combined with silver for the treatment of chronic wounds. **Wounds UK**, v. 5, n. 3, p. 87-93, 2009.
- KERPPERS, Ivo Ilvan *et al.* Efeito do extrato aquoso de Cordyline Dracaenóides Kunth na cicatrização de lesões cutâneas. **Medicina (Ribeirão Preto)**, v. 52, n. 4, p. 267-275, 2019.
- KEVIYASHRI, Y. *et al.* Potential of keratin loaded activated carbon and aqueous extracts of *Allium sativum* for the development of antibacterial wound dressing. **Materials Today: Proceedings**, v. 47, p. 321–325, 2021.
- KIM, M. H. *et al.* Thermal fabrication and characterization of Ag nanoparticle-activated carbon composites for functional wound-dressing additives. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 735, p. 2670–2674, 2018.
- KWAŚNIEWSKA, Anita *et al.* Physical Properties of Starch/Powdered Activated Carbon Composite Films. **Polymers**, v. 13, n. 24, p. 4406, 2021.
- LAMUEL-RAVENTOS, R. M.; ONGE, M.-P. ST. Prebiotic nut compounds and human microbiota. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 57, n. 14, p. 3154–3163, 2017.



- LEE, K. Y.; SHIM, J.; LEE, H. G. Mechanical properties of gellan and gelatin composite films. **Carbohydrate Polymers**, v. 56, n. 2, p. 251–254, 2004.
- LEON-BEJARANO, M. et al. Physical, barrier, mechanical, and biodegradability properties of modified starch films with nut by-products extracts. **Foods**, v. 9, n. 2, p. 1–17, 2020.
- LI, M. et al. Oligoarginine mediated collagen/chitosan gel composite for cutaneous wound healing. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 122, p. 1120–1127, 2019a.
- LI, X. et al. Preparation and characterization of novel eggshell membrane-chitosan blend films for potential wound-care dressing: From waste to medicinal products. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 123, p. 477–484, 2019b.
- LICHOTA, A.; GWOZDZINSKI, K. Anticancer activity of natural compounds from plant and marine environment. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 19, n. 11, 2018.
- MACIEL, L. G. et al. The potential of the pecan nut cake as an ingredient for the food industry. **Food Research International**, v. 127, n. May 2019, p. 108718, 2020.
- MAJNO, Guido. **The healing hand: man and wound in the ancient world**. Harvard University Press, 1991.
- MALAGUTTI, William; KAKIHARA, Cristiano Tárzia. Curativos, estomias e dermatologia: uma abordagem multiprofissional. In: **Curativos, estomias e dermatologia: uma abordagem multiprofissional**. 2014. p. 637-637.
- MALIK, N. S. A. et al. Phenolic compounds and fatty acid composition of organic and conventional grown pecan kernels. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 89, n. 13, p. 2207–2213, 2009.
- MANGUEIRA, Erivone Soedja Veriato. **Produção de carvão ativado a partir de endocarpo de coco da baía (Cocos nucifera) aplicado ao processo de adsorção do herbicida metribuzin**. 2014. Tese (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal da Paraíba. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, João Pessoa, 2014.
- MARK, Herman F. **Encyclopedia of polymer science and technology, concise**. John Wiley & Sons, 2013.
- MARTINY, T. R. et al. Bio-based active packaging: Carrageenan film with olive leaf extract for lamb meat preservation. **Foods**, v. 9, n. 12, p. 1–14, 2020.
- MIKKONEN, K. S. et al. Films from Oat Spelt Arabinoxylan Plasticized with Glycerol and Sorbitol. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 114, n. 5, p. 457–466, 2009.

- MILLER, K. *et al.* Effects of glycerol and sorbitol on optical, mechanical, and gas barrier properties of potato peel-based films. **Packaging Technology and Science**, v. 34, n. 1, p. 11–23, 2021.
- MISIC, A. M.; GARDNER, S. E.; GRICE, E. A. The Wound Microbiome: Modern Approaches to Examining the Role of Microorganisms in Impaired Chronic Wound Healing. **Advances in Wound Care**, v. 3, n. 7, p. 502–510, 2014.
- MOGOȘANU, G. D.; GRUMEZESCU, A. M. Natural and synthetic polymers for wounds and burns dressing. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 463, n. 2, p. 127–136, 2014.
- MONROY, Daniella Alejandra Pompa *et al.* Gelatin and collagen nanofiber scaffolds for tissue engineering. In: **Tissue Regeneration**. IntechOpen, 2018.
- MÜLLER, L. G. *et al.* Hepatoprotective effects of pecan nut shells on ethanol-induced liver damage. **Experimental and Toxicologic Pathology**, v. 65, n. 1–2, p. 165–171, 2013.
- NCCLS. **Methods for dilution antimicrobial susceptibility tests for bacteria that grow aerobically; Approved Standard** – 6 ed. NCCLS document M7-A6 (ISBN 1-56238-486-4). Pennsylvania 19087-1898 USA, 2003.
- NGUYEN, T.-H. *et al.* Genipin Cross-Linked Polyvinyl Alcohol-Gelatin Hydrogel for Bone Regeneration. **Journal of Biomedical Science and Engineering**, v. 09, n. 09, p. 419–429, 2016.
- NUR HANANI, Z. A.; ROOS, Y. H.; KERRY, J. P. Use and application of gelatin as potential biodegradable packaging materials for food products. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 71, p. 94–102, 2014.
- NUSSBAUM, S. R. *et al.* An Economic Evaluation of the Impact, Cost, and Medicare Policy Implications of Chronic Nonhealing Wounds. **Value in Health**, v. 21, n. 1, p. 27–32, 2018.
- OAKENFULL, D.; SCOTT, A. Gelatin gels in deuterium oxide. **Food Hydrocolloids**, v. 17, n. 2, p. 207–210, 2003.
- OLIVEIRA, J. P.; BRUNI, G. P.; FONSECA, L. M.; DA SILVA, F. T.; DA ROCHA, J. C.; ZAVAREZE, E. R. Characterization of aerogels as bioactive delivery vehicles produced through the valorization of yerba-mate (*Ilex paraguariensis*). **Food Hydrocolloids**, v. 107, p. 105931, 2020.
- PAL, K.; BANTHIA, A. K.; MAJUMDAR, D. K. Preparation and characterization of polyvinyl alcohol-gelatin hydrogel membranes for biomedical applications. **AAPS PharmSciTech**, v. 8, n. 1, 2007.
- PANG, X. *et al.* Adsorption of crystal violet on biomasses from pecan nutshell, para

chestnut husk, araucaria bark and palm cactus: Experimental study and theoretical modeling via monolayer and double layer statistical physics models. **Chemical Engineering Journal**, v. 378, n. June, 2019.

PECAN. **Wikimedia commons**, 2019.

PHUONG, V. T.; LAZZERI, A. "green" biocomposites based on cellulose diacetate and regenerated cellulose microfibers: Effect of plasticizer content on morphology and mechanical properties. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 43, n. 12, p. 2256–2268, 2012.

PINTO, Marina Sofia Sousa. **Fotoenvelhecimento: Prevenção e Tratamento**. 2014. Tese (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) - Universidade do Algarve. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Faro, 2014

POLETTI, T. *et al.* Métodos de superação de dormência da semente de Nogueira Pecã *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch. **Revista Árvore**, v. 39, n. 6, p. 1111–1118, 2015.

RAUPP, Í. N. *et al.* Development and characterization of activated carbon from olive pomace: experimental design, kinetic and equilibrium studies in nimesulide adsorption. **Materials**, v. 14, n. 22, 2021.

RECKZIEGEL, P. *et al.* Oxidative stress and anxiety-like symptoms related to withdrawal of passive cigarette smoke in mice: Beneficial effects of pecan nut shells extract, a by-product of the nut industry. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 74, n. 6, p. 1770–1778, 2011.

REZVANI GHOMI, E. *et al.* Wound dressings: Current advances and future directions. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 136, n. 27, p. 1–12, 2019.

RIBEIRO, P. C. E. *et al.* Impact of pecan nut shell aqueous extract on the oxidative properties of margarines during storage. **Journal of Organizational Behavior Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 97, n. 9, p. 3005–3012, 2017.

RIHAYAT, T. *et al.* Wound Dressing Based on Banana Peels Waste and Chitosan by Strengthening Lignin as Wound Healing Medicine. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 506, n. 1, 2019.

ROSA, Idivaldo Divino Alves. **Remoção dos herbicidas diuron e hexazinona de água superficial no tratamento em ciclo completo com adsorção em carvão ativado**. 2008. Tese (Mestrado em Tecnologia Ambiental) - Universidade de Ribeirão Preto. Programa de pós-graduação em Tecnologia Ambiental, Ribeirão Preto, 2008.

RUFINO, M. DO S. M. *et al.* Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pelo Método de Redução do Ferro (FRAP). **Comunicado Técnico**, 125 **Embrapa**, p. 3–6, 2006.

RUIVO, Adriana Pessoa. **Envelhecimento Cutâneo: Fatores Influentes, Ingredientes Ativos e Estratégias de Veiculação**. 2014. Tese (Mestrado Integrado

de Ciências Farmacêuticas) - Universidade Fernando Pessoa. Porto, 2014. SANWLANI, Shilpa; KUMAR, Pradip; BOHIDAR, H. B. Hydration of gelatin molecules in glycerol–water solvent and phase diagram of gelatin organogels. **The Journal of Physical Chemistry B**, v. 115, n. 22, p. 7332-7340, 2011.

SCHEER, H. S.; KAISER, M.; ZINGG, U. Results of directly applied activated carbon cloth in chronic wounds: A preliminary study. **Journal of Wound Care**, v. 26, n. 8, p. 476–481, 2017.

SEARS, J. K.; DARBY, J. R. **The technology of plasticizers**. John Wiley & Sons, 1982.

SHOJAEI, M. *et al.* Fabrication and characterization of ovalbumin films for wound dressing applications. **Materials Science and Engineering C**, v. 48, p. 158–164, 2015.

SILVA, Elenara Oliveira da. **Carvão ativado obtido a partir da palha de azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) para a adsorção do corante azul de metileno**. 2019. Tese (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Pampa. Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Bagé, 2019.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of Total Phenolics With Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 16, n. 3, p. 144–158, 1965.

SMITH, C. Osmosis and swelling of gelatin. **Journal of the American Chemical Society**, v. 43, n. 6, p. 1350–1366, 1921.

SOTHORNVIT, R.; REID, D. S.; KROCHTA, J. M. Plasticizer effect on the glass transition temperature of beta-lactoglobulin films. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v. 45, n. 5, p. 1479–1484, 2002.

STEYAERT, I. *et al.* Gelatin nanofibers: Analysis of triple helix dissociation temperature and cold-water-solubility. **Food Hydrocolloids**, v. 57, p. 200–208, 2016.

SUDERMAN, N.; ISA, M. I. N.; SARBON, N. M. The effect of plasticizers on the functional properties of biodegradable gelatin-based film: A review. **Food Bioscience**, v. 24, n. September 2017, p. 111–119, 2018.

TAMAHKAR, E. *et al.* A novel multilayer hydrogel wound dressing for antibiotic release. **Journal of Drug Delivery Science and Technology**, v. 58, n. January, p. 1–7, 2020.

THAMBILYAGODAGE, C. Porous Carbon Materials in Biomedical Applications. **Biomedical Journal of Scientific & Technical Research**, v. 22, n. 4, p. 22–25, 2019.

THU, H. E.; ZULFAKAR, M. H.; NG, S. F. Alginate based bilayer hydrocolloid films as potential slow-release modern wound dressing. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 434, n. 1–2, p. 375–383, 2012.

TIAN, H. *et al.* Biodegradable synthetic polymers: Preparation, functionalization and

biomedical application. **Progress in Polymer Science (Oxford)**, v. 37, n. 2, p. 237–280, 2012.

VALÉRIO FILHO, A. *et al.* Optimization of cationic dye removal using a high surface area-activated carbon from water treatment sludge. **Bulletin of Materials Science**, v.44, n. 1, p. 1-8, 2021.

VALÉRIO FILHO, *et al.* Perspectives of the reuse of agricultural wastes from the Rio Grande do Sul, Brazil, as new adsorbent materials. **Biomass-Derived Materials for Environmental Applications**. Elsevier, 2022. p. 243-266.

VALÉRIO FILHO, A. *et al.* Preparation and Characterization of Activated Carbon Obtained from Water Treatment Plant Sludge for Removal of Cationic Dye from Wastewater. **Processes**, v. 8, n. 12, p. 1549, 2020.

VALÉRIO FILHO, A. *et al.* Brazilian Agroindustrial Wastes as a Potential Resource of Bioactive Compounds and Their Antimicrobial and Antioxidant Activities. **Molecules**, v. 27, n.20, p. 6876, 2022.

VANIN, F. M. *et al.* Effects of plasticizers and their concentrations on thermal and functional properties of gelatin-based films. **Food Hydrocolloids**, v. 19, n. 5, p. 899–907, 2005.

VANPUTTE, Cinnamon L.; REGAN, Jennifer L.; RUSSO, Andrew F. **Seeley's essentials of anatomy & physiology**. McGraw-Hill, 2021.

VARSHOSAZ, J. *et al.* Development and in vitro/in vivo evaluation of HPMC/chitosan gel containing simvastatin loaded self-assembled nanomicelles as a potent wound healing agent. **Drug Development and Industrial Pharmacy**, v. 44, n. 2, p. 276–288, 2018.

VENKATACHALAN, M.; SATHE, S. K. Chemical composition of selected edible nut seeds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 13, p. 4705–4714, 2006.

VIEIRA, M. G. A. *et al.* Natural-based plasticizers and biopolymer films: A review. **European Polymer Journal**, v. 47, n. 3, p. 254–263, 2011.

VILLASANTE, J.; MARTIN-LUJANO, A.; ALMAJANO, M. P. Characterization and application of gelatin films with pecan walnut and shell extract (*Carya illinoensis*). **Polymers**, v. 12, n. 6, 2020.

WIEGAND, C.; HIPLER, U. C. Polymer-based biomaterials as dressings for chronic stagnating wounds. **Macromolecular Symposia**, v. 294, n. 2, p. 1–13, 2010.

WOUND Healing & OCT. **Wasatch Photonics**, 2017.

YOUNG, S. *et al.* Gelatin as a delivery vehicle for the controlled release of bioactive molecules. **Journal of Controlled Release**, v. 109, n. 1–3, p. 256–274, 2005.

ZARRINTAJ, P. *et al.* Can regenerative medicine and nanotechnology combine to heal

wounds? the search for the ideal wound dressing. **Nanomedicine**, v. 12, n. 19, p. 2403–2422, 2017.

ZAZYCKI, M. A. *et al.* New biochar from pecan nutshells as an alternative adsorbent for removing reactive red 141 from aqueous solutions. **Journal of Cleaner Production**, v. 171, p. 57–65, 2018.

ZHANG, Y.; HAN, J. H. Mechanical Properties of High- amylose Rice and Pea Starch Films as Affected by Relative Humidity and Plasticizer with Monosaccharides and Polyols. **Food Engineering and Physical Properties**, v. 69, n. 9, p. 449–454, 2006.

ZIMMERMAN, Leo M.; VEITH, Ilza. **Great ideas in the history of surgery**. Baltimore: Williams & Wilkins, 1961.