

Mayra Stéphanie Pascoal Damas

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES
BIODEGRADÁVEIS A PARTIR DA MUCILAGEM DO FRUTO
DE *Cereus hildmaniannus* K. SCHUM**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina como parte integrante dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Mara Gabriela Novy Quadri

Florianópolis
2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Damas, Mayra Stéphanie Pascoal

Desenvolvimento e Caracterização de Filmes Biodegradáveis a Partir da Mucilagem do Fruto de *Cereus hildmaniannus* k. Schum / Mayra Stéphanie Pascoal Damas ; orientadora, Mara Gabriela Novy Quadri. - Florianópolis, SC, 2015.

80 p.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química.

Inclui referências

1. Engenharia Química. 2. Mucilagem. 3. Filmes de *Cereus hildmaniannus*. 4. Propriedades mecânicas. 5. glicerol. I. Quadri, Mara Novy. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. III. Título.

Mayra Stéphanie Pascoal Damas

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES
BIODEGRADÁVEIS A PARTIR DA MUCILAGEM DO FRUTO
DE *Cereus hildmaniannus* K. SCHUM**

Esta dissertação foi julgada _____ para obtenção do Título de “Mestre em Engenharia Química”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 20 de Outubro de 2015.

Prof.^a, Dr. Cíntia Soares

Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química

Prof.^a, Dr.^a Mara Gabriela Novy Quadri
Orientadora

Universidade Federal de Santa Catarina

Banca Examinadora:

Prof., Dr. Marco Di Luccio

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Pedro Luiz Manique Barreto
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof., Dr. Humberto Gracher Riella
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof., Dr. Nei Fronza

Instituto Federal Catarinense – Campus Concórdia

Dedico este trabalho à minha família, em especial, a minha mãe Acilene e meu pai Valdeir.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela conclusão deste trabalho e por todas as pessoas que Ele colocou em meu caminho para que eu conseguisse chegar até aqui.

Aos meus pais, pelo amor, incentivo e apoio financeiro. E de maneira especial a minha mãe Acilene, pelas orações, confidências e por ser a minha melhor amiga.

A professora Mara Gabriela Novy Quadri pela orientação, ensinamentos e amizade.

Aos membros da banca examinadora, pelo aceite e contribuições indispensáveis a este trabalho.

A todo o grupo do Laboratório de Sistemas Porosos, Andressa, Camila, Carina, Deise, Diego, Eduardo, Fábio, Fernanda, Helena, Rodrigo, Seldis, Taysnara, Vanderlei, Vivian, pela amizade e ajuda em tantos momentos. Em especial aos amigos Valdir e Rafael por me ajudarem em todos os momentos, muito obrigada mesmo!

Aos amigos, Glenise, Karina, Daniela, Jean, Jaime, Livia, Bruno, Raquel, Camila D., Rossana, Vanilce, Cláudio e Suelen pela amizade.

À Epagri de Campos Novos/SC e principalmente ao Sr. Sérgio Roberto Zoldan, por enviar a matéria-prima necessária para excursão deste trabalho, por toda boa vontade e atenção.

À Coordenação e secretaria do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, especialmente ao Edevilson pela atenção sempre constante.

Ao coordenador da Central de Análises EQA, professor Marco e ao técnico Leandro por sempre facilitarem as análises.

Ao Laboratório Central de Microscopia Eletrônica (LCME) da UFSC.

Ao Laboratório de Controle de Processos (LCP) EQA – UFSC especialmente ao amigo Rômulo.

Ao Laboratório de Propriedades Físicas dos Alimentos (LCP) – EQA – UFSC, especialmente aos colegas Juliano, Justino e Jade.

Ao Laboratório de Materiais (LABMAT) do Departamento de Engenharia Mecânica – UFSC, na pessoa da Cláudia e professor Guilherme por permitirem a realização de análises.

Ao Laboratório de Morfogênese e Bioquímica Vegetal, CCA-UFSC, na pessoa do professor Marcelo, e da Fernanda.

A todos os professores do Departamento, pelas disciplinas ministradas e contribuição para a minha formação.

Enfim, a todos que contribuíram, direta e indiretamente com esse trabalho, meu muito obrigada!

*“Nunca, jamais desanimeis embora
venham ventos contrários”*
Santa Paulina

RESUMO

A utilização de biopolímeros para a produção de matérias biodegradáveis tem sido uma alternativa em substituição a materiais sintéticos que vão além da sua capacidade de degradação, uma vez que polímeros naturais, em sua grande maioria possuem propriedades funcionais que podem ser enfatizadas de acordo com a sua aplicação, e cada vez mais cresce o número de pesquisas relacionadas a área médica. Neste trabalho foi avaliado a capacidade filmogênica da mucilagem do fruto de *Cereus hildmaniannus* K. Schum, uma cactaceae comumente encontrada no oeste de Santa Catarina. Seu fruto é rico em açúcares essenciais para o corpo humano, sendo de conhecimento popular seu efeito de cicatrização. Os filmes biodegradáveis da mucilagem (MC) foram incorporados de glicerol na seguinte proporção de glicerol:mucilagem, 0:1, 1:4, 1:2, 1:1 (m/m) e o filme 0:1 reticulado com ácido cítrico. Todos filmes foram elaborados pela técnica *casting*. Os filmes (0:1, 1:4, 1:2 e 1:1) apresentaram valores de resistência a tração variando de 27,91 a 3,14 MPa, no alongamento de 0,61 a 17,21 %, módulo de Young de 2359,32 a 39,876 MPa), permeabilidade ao vapor de água de 0,32 a 1,11 g mm/kPa h m². Em relação a cor, todos os filmes apresentaram coloração levemente amarelada, porém ainda transparente. Através das curvas de TG-DTA foi possível observar que o glicerol reduziu a estabilidade térmica dos filmes ao mesmo tempo que apresentaram valores menores de ângulo de contato, mostrando a influência do plastificante na hidrofobicidade dos filmes. A capacidade de absorção de água dos filmes foi reduzida com o aumento da concentração do plastificante e o filme reticulado absorveu menor quantidade de água que o filme puro (0:1 m/m). A partir da análise de açúcares totais foi possível observar a liberação dos açúcares presentes no filme em água que variou de 9,31 e 22,80 g de H₂O/g filme, o que corrobora um potencial de aplicação dos filmes desenvolvidos nesse trabalho como um possível curativo após estudos complementares.

Palavras chaves: Mucilagem, filmes de *Cereus hildmaniannus*, propriedades mecânicas, glicerol.

ABSTRACT

Biopolymers have been an alternative for manufacturing of biodegradable materials to substitute synthetic materials. They present characteristics that go beyond their degradation capacity, since the majority of natural polymers present functional properties that can be enhanced in a specific application. In addition, there are more researches on biopolymer applied to medical fields. In this study, it was investigated the filmogenic capability of the mucilage from the *Cereus hildmaniannus* K. Schum fruit, which is a cactaceae presented in Santa Catarina West. This fruit is rich in essential sugars for the human body, and it is well known for its healing potential. The mucilage films were incorporated with glycerol in three different proportions of glycerol: mucilage, 0:1, 1:4, 1:2, 1:1 (m/m) and 0:1 films were reticulated with citric acid. All the films were produced by casting. The films (0:1, 1:4, 1:2 e 1:1) presented tensile strength between 27.91 to 3.14MPa, strain between 0.62 to 17.21%, Young`s modulus between 2359.32 to 39.87MPa, and water vapor permeability between 0.328 to 1.11g mm/kPa.h.m². Regarding to the aspect of the films, all they were transparent and yellowish. From the TGA-DTA, it was noticed that glycerol reduced the thermal stability and the contact angle, showing the influence of a plasticizer over the hydrophilicity. The water absorption capacity were reduced with the increase of plasticizer concentration and reticulated films absorbed less water than pure films (0:1 m/m). From total sugar analysis, it was observed that sugars from films were released into water, presenting values between 9.31 to 22.80 g of H₂O/g film, which contributes to apply the films developed in this research as a possible dressing.

Keywords: Mucilage, *Cereus hildmaniannus* films, mechanical properties, glycerol.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Imagem do Cladódio, flor e fruto de <i>Cereus hildmaniannus</i> no campo.	27
Figura 2 – Esquema representativo do ensaio de permeabilidade ao vapor d'água.	36
Figura 3 - Esquema representativo do ensaio de tração.	38
Figura 4 - Cladódios de <i>C. hildmaniannus</i> . (a) vista superior e (b) secção transversal.	39
Figura 5 - Fluxograma do processo de obtenção da mucilagem precipitada.	40
Figura 6 - Imagem das etapas do processo de extração da mucilagem.	41
Figura 7 - Fluxograma do processo de elaboração dos filmes de <i>Cereus hildmaniannus</i> K. Schum.	42
Figura 8 - Esquema representativo de um líquido sobre uma superfície sólida.	46
Figura 9 - Espectros de absorção na Região do Infravermelho dos filmes de <i>Cereus hildmaniannus</i>	54
Figura 10 – Curvas de (TG-DTA) dos filmes (a) 0:1 (b) 1:4 (c) 1:2 (d) 1:1 e (e) 0:1 Reticulado.	56
Figura 11 - Aspecto visual dos filmes de <i>Cereus hildmaniannus</i> com diferentes proporções de glicerol:mucilagem (m/m).	58
Figura 12 - Micrografias dos filmes de <i>C. hildmaniannus</i> . Amostras: a) 0:1; b) 1:4; c) 1:2; d) 1:1; e) 0:1 Filme Reticulado.	59
Figura 13 - Imagem da gota de água sobre a superfície dos filmes, (a) 0:1, (b) 1:4, (c) 1:2, (d) 1:1 e (e) 0:1 Reticulado com Ácido Cítrico.	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Subfamília e características das Cactáceas.....	28
Tabela 2 – Caracterização da polpa do fruto de <i>Cereus hildmaniannus</i> K Schum.....	30
Tabela 3 - Monossacarídeos da mucilagem do fruto de <i>Cereus hildmaniannus</i> k. Scum.	30
Tabela 4 - Média e desvio padrão da espessura dos filmes.	49
Tabela 5 – Propriedades mecânicas dos filmes.	51
Tabela 6 – Resultado da permeabilidade ao vapor de água dos filmes de <i>Cereus</i>	52
Tabela 7 – Principais vibrações correspondentes aos grupos químicos dos filmes da mucilagem do fruto de <i>C. hildmaniannus</i>	55
Tabela 11 – Análise de ângulo de contato dos filmes.	62
Tabela 12 - Parâmetros de Cor L^* , a^* , b^* e Variação Total de Cor (ΔE) dos materiais.....	64
Tabela 13 - Índices de amarelamento (Y_i) e de brancura (W_i) dos filmes	65

LISTA DE ABREVEATURAS

- a^* – Parâmetro de cromacidade (verde-vermelho)
ASTM – American Society Standard and Materials
 b^* – Parâmetro de cromacidade (azul-amarelo)
FT-IR – Espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier
 L^* – Luminosidade (preto-branco)
m/m – Massa por massa
MEV – Microscopia eletrônica de varredura
Min – minuto
MP – Mucilagem precipitada
ppm – Parte por milhão
PVA – Permeabilidade ao vapor de água (g mm/kPa h m²)
rpm – Rotação por minuto
TGA – Análise termogravimétrica
UR – Umidade relativa, (%)
 W_i – Índice de Transparência (do inglês: whiteness Index)
 Y_i – Índice de amarelamento (do inglês: yellowness Index)
 ΔE – Variação total de cor
 Δm – Variação de massa
 σ – Tensão (MPa)
 ε – Alongamento (%)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	23
1.1 IMPORTÂNCIA DO ESTUDO.....	23
1.2 OBJETIVO GERAL	24
1.2.1 Objetivos Específicos	25
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	25
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	27
2.1 VISÃO GERAL DAS CACTÁCEAS.....	27
2.1.1 Características gerais e biológicas.....	27
2.1.2 Características do gênero <i>Cereus hildmaniannus</i>	28
2.1.3 Produção científica sobre <i>Cereus hildmaniannus</i>	31
2.2 UTILIZAÇÃO DE POLISSACARÍDEOS	32
2.3 BIOFILMES	33
2.3.1 Características dos biofilmes.....	33
2.3.2 Mucilagens e biofilmes	34
2.3.3 Produção científica sobre filmes a base de mucilagens.....	34
2.4 ELABORAÇÃO DOS BIOFILMES.....	35
2.4.1 Espessura.....	35
2.4.2 Plastificantes	35
2.4.3 Permeabilidades ao vapor de água (PVA).....	36
2.4.4 Comportamento Mecânico	37
2.4.5 Comportamento Térmico	38
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	39
3.1 MATERIAL.....	39
3.2 RECEBIMENTO E ARMAZENAGEM DA MATÉRIA PRIMA	39
3.3 EXTRAÇÃO E PRECIPITAÇÃO DA MUCILAGEM DO FRUTO	40
3.3.1 Preparação dos filmes	41
3.4 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES	43
3.4.1 Aspecto geral dos filmes	43
3.4.2 Espessura dos filmes	43
3.4.3 Permeabilidade ao vapor d'água	43
3.4.4 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR)	44
3.4.5 Análise Termogravimétrica.....	44
3.4.6 Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	44

3.4.7 Capacidade máxima de absorção de água dos filmes	44
3.4.8 Quantificação dos açúcares solúveis totais liberados em água pelos filmes.	45
3.4.9 Medidas de ângulo de contato.....	46
3.4.10 Propriedades Mecânicas dos Filmes	46
3.4.11 Caracterização óptica dos filmes.....	47
3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA	48
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.1 PRECIPITAÇÃO DA MUCILAGEM E DESENVOLVIMENTO DOS FILMES	49
4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES	49
4.2.1 Espessura dos filmes	49
4.2.2 Propriedades Mecânicas.....	50
4.2.3 Permeabilidade ao vapor de água (PVA).....	52
4.2.4 Infravermelho com transformada de Fourier	53
4.2.5 Análise termogravimétrica	55
4.2.6 Aspecto visual e morfológico da superfície dos filmes de <i>Cereus hildmaniannus</i>	57
4.3 PROPRIEDADES DA MUCILAGEM EM ÁGUA.....	60
4.3.1 Absorção de água dos filmes	60
4.3.2 Potencial de aplicação: liberação dos açúcares totais presente nos filmes.....	61
4.3.3 Ângulo de Contato	62
4.4 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE COR.....	64
5 CONCLUSÕES.....	67
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	69
REFERÊNCIAS.....	71

1 INTRODUÇÃO

1.1 IMPORTÂNCIA DO ESTUDO

A substituição de aditivos sintéticos por produtos à base de plantas naturais tem crescido nos últimos tempos. Mucilagens e gomas são heteropolissacarídeos presentes em diversas fontes vegetais. Ambos são utilizados em indústrias farmacêuticas e de alimentos como agentes espessantes, retentores de água, estabilizadores de emulsão, de suspensão, bem como agentes ligantes, etc. Essas mucilagens e gomas também são utilizadas na indústria cosmética, têxtil e de papel (ARCHANA et al., 2013). Por serem inertes, atóxicos, menos onerosos, biodegradáveis, amplamente disponíveis, podendo ser utilizados no sistema de liberação de drogas, competem com materiais sintéticos destinados à mesma finalidade (PRAJAPATI et al., 2013). Uma de suas características é que estas moléculas são hidrofílicas e podem ser combinadas com água para formar soluções viscosas ou géis (JANI et al., 2009).

Diversos estudos vêm sendo realizados com polímeros naturais dentre os quais podem ser citados a quitosana (SUYATMA et al., 2005; SOUZA et al., 2013; PEREIRA JR et al., 2014), gomas de diversas fontes (HAQ et al., 2014), mucilagem de *Opuntia ficus-indica* (L) (DÍAZ et al., 2010), amido (KHAN et al., 2006 ;MALI et al., 2010) e galactomananas (CERQUEIRA et al., 2009), por apresentarem boas propriedades formadoras de filmes e exibirem valores satisfatórios à barreira a gases, além de apresentarem baixo custo e viabilidade do material para elaboração dos filmes.

O *Cereus hildmaniannus* K. Schum é uma cactácea rica em mucilagem que cresce naturalmente em solos pedregosos e com escassez de água. Esta espécie, conhecida pela população rural do meio oeste do Estado de Santa Catarina, tem sua importância do potencial de domesticação e cultivo em escala. Seus frutos, comestíveis, carnosos, de sabor suave, são apreciados pela população rural da região (PORTO, 2009). Considerando o aspecto biológico, tanto no cladódio quanto no fruto de *Cereus hildmaniannus* estão presentes cinco (glucose, manose, galactose, frutose e xilose) dos oito açúcares importantes para o melhor funcionamento do corpo humano. Estes gliconutrientes possuem efeito significativo sobre o sistema imunológico, auxiliando o corpo humano na autocura (MONDOA; KITEI, 2002).

A elevada concentração de grupos hidroxílicos dos polissacarídeos faz com que as mucilagens possuam uma alta capacidade de ligação

com a água. Essa capacidade pode ser atribuída ao mecanismo de defesa da planta para resistir à seca (CLARKE et al., 1979).

Na literatura são encontrados alguns trabalhos que desenvolveram e caracterizaram filmes a base de gomas e mucilagens, como os de Park et al. (2001), Muñoz et al. (2012), Khazaei et al. (2014) Haq et al. (2014) e Espino-Díaz et al. (2014), no entanto existe uma considerável escassez de informações e estudos a respeito de filmes da mucilagem de *Cereus hildmaniannus*, o que motivou o interesse a pesquisar sobre essa rica mucilagem e sua capacidade filmogênica.

As poucas informações advindas da literatura a respeito das características dos filmes formados pela mucilagem do *C. hildmaniannus* os descrevem como filmes frágeis e quebradiços. Estas características podem, no entanto, ser modificadas pela adição de um plastificante. O glicerol é um composto bastante utilizado em filmes poliméricos para este fim; por apresentar moléculas pequenas e de natureza hidrofílica, estas penetram com facilidade na matriz polimérica. Ele ainda diminui as forças de atração entre as cadeias poliméricas e aumenta o volume livre e movimentos segmentares entre eles. Por conseguinte, havendo uma maior Permeabilidade ao vapor d'água (PVA), as moléculas de água são difundidas mais facilmente em filmes poliméricos que foram submetidos à adição de plastificante (RODRÍGUEZ et al., 2006).

Para a elaboração dos biofilmes, a técnica “casting” é normalmente empregada. Esta consiste na deposição de uma solução de biopolímero em um suporte adequado com posterior evaporação do solvente a uma determinada temperatura (THARANATHAN, 2003).

Portanto, sabendo que a mucilagem do *C. hildmaniannus* K. Schum possui em sua composição monossacarídeos muito valorosos e funcionais no que diz respeito ao que podem agregar na área da saúde, propõe-se desenvolver e caracterizar filmes da mucilagem de *Cereus hildmaniannus* de modo que possa, no futuro, vir a ser utilizado como uma pele artificial. Para tanto estudar-se-á o efeito da adição de plastificante no mesmo de modo a obter um filme flexível. Espera-se, por fim, promover a ampliação e enriquecimento do conhecimento científico nesta área, além de contribuir com novas conquistas e descobertas para a evolução tecnológica.

1.2 OBJETIVO GERAL

Desenvolver e caracterizar filmes da mucilagem da fração solúvel do fruto do cacto *C. hildmaniannus*.

1.2.1 Objetivos Específicos

- Extrair a mucilagem presente na polpa do fruto da cactácea.
- Desenvolver filmes de *C. hildmaniannus* e avaliar o efeito do plastificante glicerol em diferentes concentrações no filme.
- Avaliar o efeito da reticulação com ácido cítrico no filme sem a adição de glicerol.
- Caracterizar os filmes obtidos quanto à espessura, propriedades mecânicas, propriedades térmicas, espectroscópicas e morfológica.
- Avaliar a influência da adição de glicerol nos parâmetros dinâmicos de cor dos filmes obtidos de acordo com a escala CIElab.
- Caracterizar os filmes quanto à permeabilidade ao vapor de água, bem como à capacidade de absorção de água em 24 horas.
- Quantificar a concentração de açúcares liberados dos filmes.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está ordenada em seis capítulos. No capítulo 1, são explanados a motivação e justificativa do trabalho. No capítulo 2, é feita uma revisão bibliográfica que apresenta ao leitor o cacto *C. hildmaniannus* e suas características gerais. Nesse capítulo também se encontram aspectos sobre polissacarídeos, biofilmes, assim como os principais métodos de caracterização. No capítulo 3 estão descritos os materiais além de todos os procedimentos metodológicos empregados na extração e precipitação da mucilagem, desenvolvimento dos filmes e as análises utilizadas para caracterização dos mesmos. No capítulo 4, estão os resultados e discussões pertinentes ao trabalho. No capítulo 5, Conclusões, é apresentado o conjunto de conclusões em resposta aos objetivos propostos inicialmente. E, finalizando a dissertação, tem-se o capítulo 6 contendo as referências bibliográficas utilizadas durante o decorrer do estudo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 VISÃO GERAL DAS CACTÁCEAS

2.1.1 Características gerais e biológicas

As Cactaceae compreendem aproximadamente 100 gêneros e 1.500 – 1.800 espécies. As cactáceas são dicotiledôneas suculentas que apresentam hábito arbóreo, arbustivo, epifítico ou geófito. Além disso, possuem caule colunar, cilíndrico, globoso, tuberculado, com costelas, asas ou achatado, geralmente segmentado sem folhas e com espinhos. Esses caules são conhecidos como cladódios (Figura 1) e possuem coloração geralmente verde. As flores são vistosas, isoladas e raramente agrupadas; os frutos, carnosos ou secos, possuem sementes numerosas e endosperma ausente ou presente (BARTHLOTT e HUNT, 1993).

Figura 1 – Imagem do Cladódio, flor e fruto de *Cereus hildmaniannus* no campo.



Fonte: Adaptado pelo autor.

Segundo Barthlott e Hunt (1993), esta família está dividida em três subfamílias, como é mostrado na Tabela 1:

Tabela 1- Subfamília e características das Cactáceas.

Subfamília	Características
Cactoideae	Apresenta hastes suculentas, não tem folhas, com aréolas bem desenvolvidas.
Opuntioideae	Espécies tipo árvore ou arbusto, com folhas, encontra-se dividida em 5 gêneros.
Pereskioideae	Possui árvores sem folhas ou com vestígios de folhas, possuindo 91 gêneros.

Fonte: Barthlott e Hunt (1993).

No Brasil, ocorrem cerca de 330 espécies de Cactaceae. Destas, 182 são endêmicas do país, com maior concentração na região Sudeste com cerca de 100 espécies (ZAPPI et al., 2010) e cerca de 37 gêneros endêmicos no país (SILVA et al., 2011). O gênero *Cereus* pertencente à tribo Cereeae, subfamília Cactoideae, compreende quatro subgêneros distribuídos na América do Sul e pode ser encontrado em vários biomas, como Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica e Campos rupestres (TAYLOR; ZAPPI, 2004).

Podem ser citadas algumas espécies do gênero *Cereus*: *Cereus uruguayanus*, *Cereus xanthocarpus*, *Cereus hildmaniannus ssp. hildmaniannus*, *Cereus milesimus*, *Cereus neonesioticus*, *Piptanthocereus baeanus*, *Piptanthocereus neonesioticus*, *Piptanthocereus uruguayanus*, *Cereus Cereus ssp. Uruguayanus*, *Cereus hildmaniannus ssp. xanthocarpus* (DURLI, 2008).

2.1.2 Características do gênero *Cereus hildmaniannus*

O gênero *Cereus hildmaniannus* é considerado uma planta ereta, colunar, arbustiva ou arbórea, rupícola, variando de 8 a 15 metros de altura, com cladódios, geralmente verdes e frutos carnosos, oval-alongado com sementes obovadas de coloração preta. Sua floração e frutificação ocorrem, principalmente, entre os meses de outubro a janeiro (BRUXEL; JASPER, 2005).

Essa espécie pode ser encontrada em países da América do Sul (Paraguai, Uruguai, Bolívia, Argentina e Brasil). Sua distribuição no sul

do Brasil ocorre em florestas úmidas e semiúmidas, com distribuição também no leste e sudeste do país (TAYLOR; ZAPPI, 2004)

Cereus hildmaniannus se destaca em relação às demais espécies de cactáceas devido sua ocorrência natural na região Sul, possuindo características de interação com a fauna e a flora (BRUXEL; JASPER, 2005). Além da importância ecológica, essa espécie se destaca por sua aptidão agrícola, podendo ser cultivada onde as atividades agrícolas são dificultadas pelo solo raso, pedregoso e com escassez de água (PILETTI, 2011).

Em Santa Catarina, essa cactácea é encontrada nos municípios de Araranguá, Florianópolis, Laguna, Jaguaruna e Porto Belo, onde pode ser observada em costões rochosos e restingas arenosas de diferentes fitofisionomias (SCHEINVAR, 1985); também pode ser encontrada no município de Zortéa, onde há o crescimento natural dessa espécie, que é popularmente conhecida por “Tuna”. É comestível, apreciada pela população rural, mas pouco conhecida no meio urbano (PILETTI, 2011).

Santa Catarina é um Estado brasileiro que apresenta grande riqueza na sua flora em geral e as cactáceas são parte importante dessa biodiversidade. Também é uma região onde há muito endemismo em diversas famílias de fanerógamas, tanto ao nível de gêneros como de espécies. A família Cactaceae tem uma variada utilidade, como planta forrageira na alimentação animal, como planta ornamental, também apresenta grande valor nutritivo, sendo a palma e frutos comestíveis e grande importância no seu nicho ecológico. O que a torna uma família pouco conhecida e valorizada é a escassez de publicações nesta área, bem como o seu aspecto morfológico (espinhos), o que acaba não atraindo a população em geral, principalmente no que se refere ao valor econômico e ecológico (bioindicadoras na preservação de ecossistemas de restingas) (ZANCO et al., 2009).

Segundo Porto (2009), as características físico-químicas do fruto de *Cereus hildmaniannus* possuem teores centesimais dentro da faixa encontrada para outros frutos da mesma família.

Piletti (2011) caracterizou quimicamente a polpa do fruto da tuna, encontrando os valores mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização da polpa do fruto de *Cereus hildmaniannus* K Schum.

Parâmetros	Polpa
Rendimento (%)	2,18
Umidade (%)	83,12
Sólidos Solúveis (°Brix)	6,01±0,15
Carboidratos Totais (g/100g)	7,59±0,70
Carboidratos Redutores (g/100g)	6,98±0,04
Acidez (g/100mL)	0,37±0,25
pH	3,97±0,46
Lipídeos (g/100g)	0,03±0,15
Proteínas (g/100g)	1,12±0,01
Cinzas (g/100g)	0,11±0,15
Vitaminas C (mg/ 100mL)	0,98
Teor de fenólicos (mg EAG/L)*	324±0,71
Capacidade antioxidante (%SQR)**	92,26

*Equivalente de ácido gálico **Sequestro de radicais livres

Fonte: Piletti (2011).

No trabalho de Colonetti (2012) foram identificados os monossacarídeos da mucilagem do cladódio e do fruto de *Cereus hildmaniannus* K Schum (Tabela 3), glucose, manose, galactose, frutose e xilose, são qualitativamente semelhantes àqueles obtidos para a mucilagem do cladódio do gênero *Opuntia*, estes monossacarídeos são conhecidos como açúcares essenciais ou gliconutrientes, pois são essenciais para a saúde e bom funcionamento do organismo (MONDOA e KITEI, 2002).

Tabela 3 - Monossacarídeos da mucilagem do fruto de *Cereus hildmaniannus* k. Scum.

Pico	Monossacarídeo	Fração Solúvel do Fruto (%mol)
1	L-arabinose	30,65
2	L-ramnose	0,15
3	L-fucose	1,35
4	D-xilose	0,41
5	D-manose	9,3
6	D-galactose	0,05
7	D-glucose	58,09

Fonte: Collonetti (2012).

2.1.3 Produção científica sobre *Cereus hildmaniannus*

Segundo Gilioli (2015), a espécie *Cereus hildmaniannus* ainda é relativamente desconhecida, sendo poucos os estudos encontrados na literatura. Outro fato importante é que essa espécie também é citada na literatura pelos seus sinônimos científicos como, por exemplo, *Cereus peruvianus* (L) Miller, fato que pode dificultar o consenso nas características biológicas da espécie, visto que a família Cactaceae só foi recentemente descrita e engloba grande quantidade de espécies.

O estudo de Pereira (2009) descreveu a estrutura demográfica e os sítios de ocorrência de *Cereus hildmaniannus* K. Schum, além de avaliar a distribuição espacial e a fenologia reprodutiva em uma restinga arbustiva em Santa Catarina, sul do Brasil.

Quadri et al. (2010) desenvolveram uma patente do suco de fruta feito a partir da polpa do fruto de *Cereus hildmaniannus* K. Schum.

Piletti (2011) realizou caracterizações físico-químicas e reológicas da polpa e da mucilagem da polpa do fruto da espécie *Cereus hildmaniannus* K. Schum visando um aproveitamento industrial, além de avaliar seu comportamento reológico quando submetida a diferentes condições de processo, como concentração de mucilagem, força iônica, pH, tratamento enzimático, em diferentes temperaturas.

Branco (2011) caracterizou a mucilagem do cacto de *Cereus hildmaniannus* K. Schum quanto a propriedades físicas, químicas e reológicas. No trabalho, a autora apresenta uma metodologia de extração e precipitação do carboidrato para, posteriormente, realizar as análises químicas e físicas e estudos reológicos, visando elucidar o comportamento da mucilagem em solução.

Colonetti (2012) caracterizou química e termicamente as frações solúvel e insolúvel da mucilagem do fruto e do cladódio de *Cereus hildmaniannus* K. Schum, além de avaliar o comportamento em solução da fração solúvel.

Silva (2013) descreveu a história evolutiva *Cereus hildmaniannus* no sul do Brasil. Um dos objetivos do estudo foi definir a estrutura populacional desse bioma e realizar uma análise filogeográfica.

Gilioli (2015) caracterizou e avaliou a viabilidade do uso da casca do fruto de *Cereus hildmaniannus* K. Schum como adsorvente. Segundo a autora, o material é bom adsorvente de proteínas.

Na literatura não foi encontrado nenhum trabalho de filme feito à base de mucilagem de *Cereus hildmaniannus* K. Schum, o que nos instiga a estudar ainda mais esse hidrocolóides.

2.2 UTILIZAÇÃO DE POLISSACARÍDEOS

As mucilagens são caracterizadas como substâncias translúcidas, amorfas, poliméricas, formadas por monossacarídeos ou pela mistura deles, sendo que muitas possuem a cadeia monossacarídica combinada com ácidos urônicos. Quando hidrolisados, fornecem uma mistura de açúcares e ácidos urônicos. Suas moléculas são hidrofílicas e podem ser combinadas com água para formar soluções viscosas ou géis. Sabe-se da literatura que polissacarídeos lineares ocupam mais espaço e formam soluções mais viscosas do que os semelhantes que apresentam mesma massa molar altamente ramificados, como é o caso das mucilagens (JANI et al., 2009).

Colonetti (2012), ao caracterizar a mucilagem do fruto e do cladódio de *Cereus hildmaniannus* K. Schum, afirmou que essa cactácea pode ser utilizada em diversos segmentos indústrias, como por exemplo para aplicação como filmes comestíveis ou também em adição a outros hidrocolóides.

Um dos principais benefícios da utilização de polissacarídeos naturais são a sua biodegradabilidade, biocompatibilidade, não toxicidade, e por estarem disponíveis no meio ambiente (ARSUL e LOHOTI, 2014).

Devido aos avanços na tecnologia de entrega da droga, polissacarídeos naturais estão sendo incluídos no sistema de liberação da droga para cumprir funções multitarefas e, direta ou indiretamente, em alguns casos controlar o alcance e/ou a proporção de liberação da droga (JANI et al., 2009). Não obstante a isso, alguns polissacarídeos vêm sendo estudados pois contribuem diretamente para o processo de cicatrização de lesões na pele, dentre esses podemos citar: *Opuntia ficus-indica* (PARK e CHUN, 2001), *Aloe vera* (DAVIS et al., 1994; KHAN et al., 2013; MOLAZEM et al., 2014), cana-de-açúcar (COELHO et al., 2012), *Anacardium occidentale* L. (SCHIRATO et al., 2006), *Acacia nilótica* (ALI et al., 2012).

Apesar de todo conhecimento de origem popular acerca das propriedades cicatrizantes advinda das regiões onde é possível encontrar essa cactácea (*Cereus hildmaniannus*), não existe na literatura nenhum estudo que comprove cientificamente o efeito de cicatrização através da mucilagem do cladódio e do fruto de *Cereus hildmaniannus*. Tal efeito de cicatrização pode ser atribuído ao dos açúcares presentes na mucilagem, já que é de conhecimento científico que desde a antiguidade, o uso de açúcar como mel ou melado é efetivo para o tratamento de lesões na pele bem como de feridas infectadas (FORREST, 1982; HOLANDA et al., 1984). Em 1990, Acher e colaboradores, obtiveram resultados satisfatórios no sua de pasta de açúcar na cicatrização de feridas úmidas. Um estudo mais

recente realizado por Alves e Deane (2009) comprovou a eficácia do uso de açúcar no tratamento da infecção por *Pseudomonas sp* em úlceras por pressão.

2.3 BIOFILMES

2.3.1 Características dos biofilmes

A elaboração de biofilmes geralmente envolve a utilização de vários componentes tais como proteínas, polissacarídeos, lipídios ou a combinação deles de acordo com a finalidade do produto final. Coberturas e biofilmes feitos de polissacarídeos (amido, alginatos, celulose, pectinas, gomas e quitosana) apresentam boa barreira a O_2 e CO_2 , mas não a água, por serem altamente polares. Biofilmes a base de lipídeos (ceras, óleos ou ácidos graxos) por sua vez apresentam caráter hidrofóbico sendo efetivos como barreira à umidade. A adição de componente hidrofóbico à suspensão filmogênica leva formação de filme composto, no qual o composto lipídico serve como barreira ao vapor de água, e o polissacarídeo fornece barreira ao O_2 e as características mecânicas essenciais a constituição de um bom filme (BERTAN, 2003).

A maioria dos filmes feitos a partir de polissacarídeos ou proteínas apresentam boas propriedades mecânicas e maior sensibilidade à umidade. Por outro lado, os filmes produzidos a partir de lipídeos mostram boas propriedades de barreira ao vapor de água, contudo são opacos, e se apresentam ligeiramente flexíveis e quebradiços (GUILBERT, 1986).

A produção dos filmes é geralmente promovida pelas interações inter e intracelulares ou devido a ligações cruzadas das cadeias poliméricas, que originam uma rede tridimensional semi-rígida levando ao aprisionamento e imobilização do solvente. O grau de coesão estrutural desse polímero, irá depender do solvente utilizado, da temperatura de evaporação, e da presença de outras moléculas, tais como os plastificantes, que são responsáveis pelo aumento da flexibilidade dos filmes e que podem ser: água, polióis, oligossacarídeos e lipídios de diferentes tipos amplamente usados em filmes à base de hidrocolóides (THARANATHAN, 2003; SUYATMA et al., 2005). E dentre as variadas técnicas de desenvolvimento de filmes, a técnica de “Casting” se estabelece como uma das mais utilizadas, devido a sua facilidade caracterizada pela evaporação do solvente aquoso, resultando em uma conseqüente coalescência das cadeias poliméricas, levando à formação de um filme contínuo (PEREIRA-JR. et al., 2014).

2.3.2 Mucilagens e biofilmes

Gomas e mucilagens possuem uma estrutura complexa de polímeros ramificados, permitindo uma elevada coesão juntamente de propriedades adesivas, sendo amplamente exploradas como excipientes farmacêuticos. Podem ser utilizados como espessante, emulsificante, estabilizador, agente de gelificação, agente de granulação, agente aglutinante, agente de suspensão, filme, ligantes de comprimidos, desintegrante. A demanda por essas fontes naturais está a aumentar e novas fontes estão sendo desenvolvidas. Apresentam vantagens em relação a materiais sintéticos e semi-sintéticos por serem encontrados facilmente na natureza, além de apresentarem ação calmante e não irritante (DEORE E KHADABADI, 2008; BHARDWAJ et al., 2002)

2.3.3 Produção científica sobre filmes a base de mucilagens

Na literatura são encontrados alguns trabalhos de filmes feitos à base de mucilagens, em sua grande maioria filmes desenvolvidos com mucilagem extraída das sementes, como os citados a seguir.

No recente estudo de Dick et al. (2015), foram investigadas as propriedades físico-químicas e mecânicas de filmes feitos a partir da mucilagem de Chia (*Salvia hispanica* L). O estudo demonstrou que a mucilagem de chia é um hidrocolóides com propriedades importantes e também é um potencial para ser aplicado como revestimento ou película comestível.

Já no trabalho de Jouki et al. (2013), a matéria prima utilizada foi a semente de marmelo. Os filmes foram preparados e, em seguida, foram determinadas suas propriedades físicas, mecânicas, térmicas, de barreira, capacidade antioxidante e microestrutural. Os resultados revelaram que a semente tem potencial para ser utilizada em embalagem de uma grande variedade de produtos alimentares. Esse mesmo grupo de pesquisa desenvolveu filme de semente de marmelo com a incorporação de óleo essencial de orégano e avaliou suas propriedades antimicrobianas, antioxidantes, térmicas, mecânicas e físicas. Obtiveram resultados favoráveis a incorporação desse óleo essencial no filme bem como sua utilização para desenvolvimento de embalagens ativas para alimentos (JOUKI et al., 2014).

O uso de filmes da mucilagem do cladódio de *Opuntia ficus* serviu para prolongar a vida útil de goiabas (*Psidium guajava* L.) (ZEGBE et al. 2015).

Na literatura, ainda é possível encontrar estudos que desenvolvem filmes com mucilagens a partir de blendas, como é o caso do estudo realizado Muñoz et al., (2012) que caracterizaram filmes de mucilagem de *Salvia hispanica* com proteína concentrada do soro de leite. A utilização desse polissacarídeo é uma opção para melhorar as propriedades físicas de filmes comestíveis que combinam mucilagem de chia e proteína isolada.

2.4 ELABORAÇÃO DOS BIOFILMES

2.4.1 Espessura

A espessura de um filme pode ser definida como a distância perpendicular entre as duas superfícies principais do material. Através do conhecimento da espessura é possível obter informações sobre as propriedades dos filmes, como resistência mecânica, propriedades de barreira aos gases e ao vapor d'água do material (CUQ et al., 1996; SARANTÓPOULOS et al., 2002).

2.4.2 Plastificantes

Plastificantes, em sua maior parte, são compostos altamente hidrofílicos e higroscópicos que atraem moléculas de água. O seu uso em filmes e revestimentos comestíveis à base de polissacarídeos permitem o rompimento de pontes de hidrogênio, levando a um aumento da distância entre as moléculas do polímero e reduzindo a formação de regiões cristalinas em relação às amorfas (KROCHTA, 2002). Filmes de polissacarídeos sem plastificantes tornam-se bastante quebradiços. Com o objetivo de aumentar sua flexibilidade e manuseio, o uso de plastificantes como glicerol e sorbitol vem sendo amplamente estudados. Os plastificantes influenciam todas as propriedades funcionais dos biofilmes, inclusive a permeabilidade ao vapor de água devido seu caráter hidrofílico o que é favorável para adsorção das moléculas de água, que na maioria das vezes aumenta linearmente com o uso de agentes plastificantes, principalmente de glicerol (GENNADIOS et al., 1993; CUQ et al., 1997).

Amplamente conhecido na indústria química, farmacêutica e de produtos naturais, e conhecido popularmente como glicerina, o glicerol pode ser formado em grande quantidade durante a produção de biodiesel a partir de triglicerídeos naturais e representa um desperdício que deve ser utilizado.

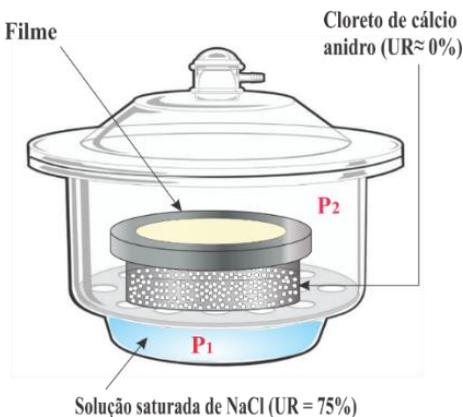
2.4.3 Permeabilidades ao vapor de água (PVA)

A norma ASTM (*American Society for Testing and Materials*) E 96-95 define a permeabilidade ao vapor de água e a gases como a taxa de transmissão de vapor de água e gases por unidade de área através da espessura do material e por gradiente de pressão entre duas superfícies específicas, de temperatura e umidade relativa conhecidas (ASTM, 1995).

Fedeman (2001) descreve o processo de permeabilidade em filmes em três etapas. Na 1ª etapa, ocorre movimentação do permeante para a superfície do filme e sua adsorção dentro da cadeia polimérica. Na 2ª etapa, há a migração ou difusão do permeante através da cadeia polimérica do filme de acordo com o gradiente de concentração em ambos os lados do filme. Na 3ª, por fim, ocorre a dessorção do permeante do lado contrário do filme e sua dispersão no ar.

A permeabilidade é decorrente do processo de dissolução e constante de difusão, juntamente com o coeficiente de solubilidade, representando a taxa de transporte da molécula permeante. Pode ser definida como uma propriedade do par filme/permeado (vapor de água, oxigênio e gás carbônico), em determinadas condições de temperatura, umidade relativa, espessura e diferença de pressão parcial (MCHUGH; KROCHTA, 1994). Um esquema da célula utilizada nos ensaios de permeabilidade ao vapor de água é representado na figura 2.

Figura 2 – Esquema representativo do ensaio de permeabilidade ao vapor d'água.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

A Figura 2 representa o esquema de uma célula de permeação de peso conhecido. Um filme na forma de disco, com espessura também conhecida, é fixado na célula que contém em seu interior um cloreto de cálcio anidro para gerar uma umidade relativa (UR) de 0%. A célula é submetida a condições de umidade controlada dentro de um dessecador, UR de 75% (ASTM 1995). Essa condição pode ser obtida através de uma solução saturada de NaCl. Em todo o sistema, existem duas pressões, uma gerada dentro da célula de permeação (P_1) e outra no interior do dessecador (P_2). No decorrer do tempo, o filme absorve umidade do interior do dessecador, sendo possível determinar a sua permeabilidade ao vapor de água (PVA), conforme Equação 1:

$$PVA = \frac{m_{ab}}{t} \cdot \frac{e}{A \cdot \Delta P} \quad (1)$$

onde, m_{ab} é a massa da umidade absorvida (g); t é o tempo de duração do ensaio (dias); e é a espessura (mm); A é a área da superfície (m^2) e ΔP é a diferença de pressão parcial de vapor através do filme (Pa).

2.4.4 Comportamento Mecânico

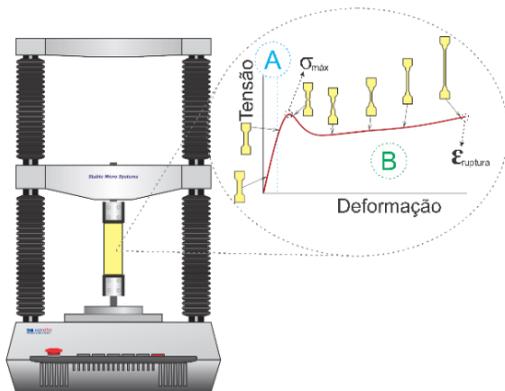
Ensaio de tração são algumas das propriedades mecânicas que servem para identificar e caracterizar filmes flexíveis, bem como para avaliar a qualidade desses materiais. O ensaio de tração de um filme envolve a separação, a uma velocidade constante, de duas garras que prendem as extremidades da amostra, registrando ao longo do ensaio, a força ou a resistência que o material é capaz de oferecer à deformação (SARANTÓPOULOS et al., 2002).

Desta forma, a resistência à tração pode ser definida como a tração máxima apresentada pelo filme em um teste de tensão/deformação, diferentemente da resistência ao alongamento, que é descrita como a capacidade do filme em se esticar. Sendo assim, o arranjo molecular dos polímeros e materiais que o compõe tem influência direta no seu comportamento mecânico (CANEVAROLO, 2002).

No esquema representado na figura 3, tem-se a curva de tensão x deformação de um polímero no momento do ensaio de tração, onde é possível observar o perfil das amostras nos vários estágios de deformação do filme. A letra A na figura, representa o comportamento elástico, relação entre a resistência e deformação (módulo de elasticidade ou módulo de

Young). Após, tem-se o ponto de tensão máxima ($\sigma_{\text{máx}}$) que o filme é capaz de suportar, a partir desse momento começa a ocorrer a estrição do material (região *B*), onde tem-se um comportamento plástico que vai até o momento de ruptura do filme ($\epsilon_{\text{ruptura}}$).

Figura 3 - Esquema representativo do ensaio de tração.



Fonte: Adaptado de Callister (2007).

2.4.5 Comportamento Térmico

A análise térmica serve para descrever um conjunto de técnicas que permitem mensurar as mudanças de caráter físico ou químico em uma substância ou material em função da temperatura ou do tempo. A análise térmica permite avaliar decomposição térmica, como também a resolução quantitativa de umidade, compostos voláteis, resíduos e quantidade de cinzas do material analisado (MOTHÉ e AZEVEDO, 2002).

Através da Termogravimetria (TG) é possível observar a variação de massa de uma substância (Δm) quando submetida a um programa de temperatura controlada. A exposição de um composto a uma temperatura elevada, na maioria das vezes, pode modificar a estrutura química e, conseqüentemente, as propriedades físicas dos materiais, ou seja, a curva de degradação térmica (em condições não isotérmicas) que apresenta o perfil da resistência ou estabilidade térmica que o material possui quando submetido a uma varredura de temperatura. Sendo assim, o material que preserva suas características próximas às iniciais, apresenta uma dada estabilidade térmica, que deve estar de acordo com as funções que ele deve desenvolver (MOTHÉ e AZEVEDO, 2002).

3 MATERIAL E MÉTODOS

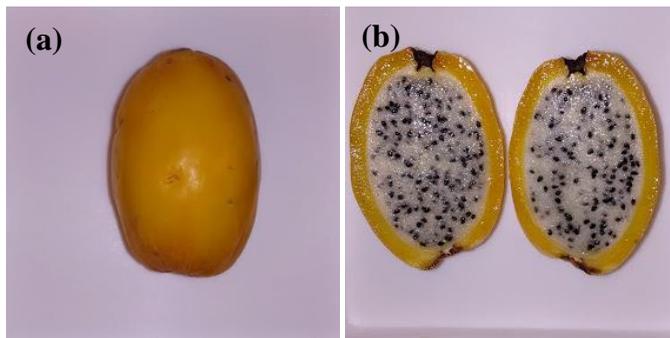
3.1 MATERIAL

Os materiais utilizados nesse estudo foram: fruto de *Cereus hildmaniannus* K. Schum, obtido no município de Zortéa-SC, cedidos pela Empresa de Pesquisa Agrícola de Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri-SC). Para a extração da mucilagem do fruto, utilizou-se etanol (92,8 % de pureza) e acetona P.A (marca – Synth). A glicerina (marca Synth P.A – A.C.S), ácido crítico P.A. (marca Nuclear) e ácido toluenosulfônico (marca Dinâmica) utilizados foram de grau analítico.

3.2 RECEBIMENTO E ARMAZENAGEM DA MATÉRIA PRIMA

Os frutos de *Cereus hildmaniannus* K. Schum (Figura 4) foram colhidos no município de Zortéa, interior do Estado de Santa Catarina. Em seguida, foram transportados em caixas de isopor até o laboratório LA-SIPO - UFSC. Após o recebimento, estes foram lavados com água para remoção das sujidades. A etapa seguinte consistiu na higienização dos frutos com uma solução 100 ppm de hipoclorito de sódio por 30 minutos e posteriormente lavados com água destilada. A extração da polpa dos frutos foi realizada com auxílio de utensílios higienizados após corte longitudinal em suas cascas. Procedeu-se o acondicionamento das polpas em vasilhames de plásticos previamente higienizados e congelamento em freezer (Consul, modelo-280) a -18 °C até utilização.

Figura 4 - Cladódios de *C. hildmaniannus*. (a) vista superior e (b) secção transversal.

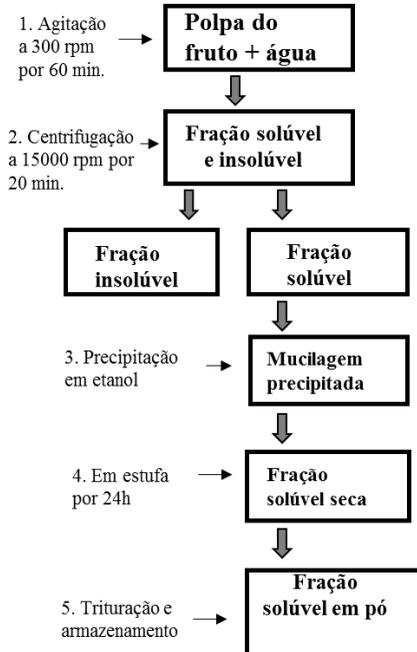


Fonte: Desenvolvido pelo Autor.

3.3 EXTRAÇÃO E PRECIPITAÇÃO DA MUCILAGEM DO FRUTO

A Figura 5 mostra o fluxograma do processo de obtenção da mucilagem precipitada.

Figura 5 - Fluxograma do processo de obtenção da mucilagem precipitada.

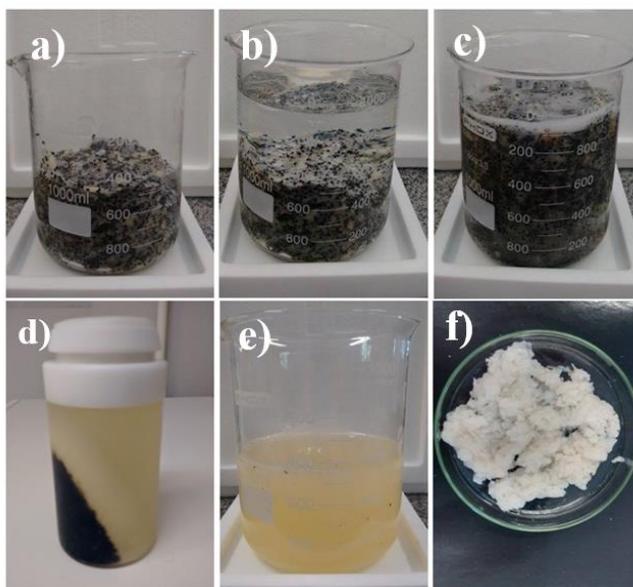


Fonte: Desenvolvido pelo autor.

A Figura 6 representa o processo de extração da mucilagem precipitada em etanol. Inicialmente a polpa dos frutos do cacto *Cereus hildmannianus* K. Schum (Fig. 6-a), foi submetida ao processo de separação das frações solúvel e insolúvel de acordo com o método de Piletti (2011) adaptado. A polpa foi colocada em béquer com água destilada na proporção de 3:2 (m/m) (Fig. 6-b). Procedeu-se à agitação mecânica em agitador marca DIST, modelo DI-14MP, por 60 minutos a 300 rpm à temperatura máxima de 60 °C, mantida constante por chapa de aquecimento, marca TECNAL, modelo TE-085, para uma melhor solubilização da mucilagem (Fig. 6-c). Posteriormente a solução aquosa foi peneirada em peneira de 18 mesh, no intuito de promover a separação das frações solúvel e inso-

lúvel da mucilagem. O filtrado foi resfriado à temperatura ambiente e centrifugado (Fig. 6-d) em ultra-centrífuga (modelo ProteomeLab™ XL-I da Beckman Coulter) por 20 min a 15000 rpm, para melhor separação das partes sólidas (fração insolúvel e sementes) ainda presentes. A fração solúvel (Fig. 6-e) foi precipitada com etanol na proporção de 3:1 volumes de etanol para cada volume da fração solúvel e lavados com etanol até obtenção de uma massa branca (Fig. 6-f). Para finalizar, o precipitado foi lavado com acetona. A secagem foi realizada em estufa de marca Nova Técnica (NT-513D) a 40 °C por 24 horas.

Figura 6 - Imagem das etapas do processo de extração da mucilagem.

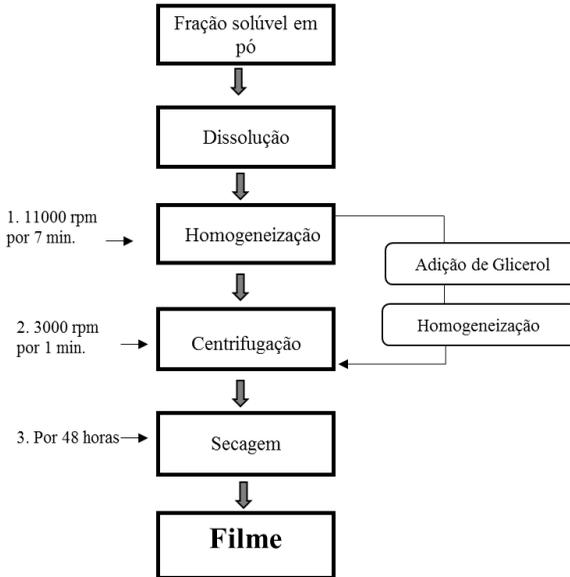


Fonte: Desenvolvido pelo autor.

3.3.1 Preparação dos filmes

A Figura 7 mostra o fluxograma do processo de elaboração dos filmes de mucilagem de *Cereus hildmaniannus* K. Schum.

Figura 7 - Fluxograma do processo de elaboração dos filmes de *Cereus hildmannianus* K. Schum.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Ensaio preliminares mostraram que é possível a elaboração de filmes sem adição de plastificante. Os filmes foram preparados dissolvendo a mucilagem precipitada em água a 1% (m/v) sob agitação em Ultra Turrax, marca Ika Labortchnik (modelo T25 basic), a uma velocidade de 11000 rpm por 7 min. Em seguida, adicionou-se glicerol como plastificante nas proporções de 1:4, 1:2 e 1:1 (m/m) de glicerol: mucilagem na solução aquosa de mucilagem, agitando-se por mais 5 minutos. A solução obtida mostrou ser homogênea. As dispersões foram centrifugadas a 3000 rpm por 3 minutos para remoção das bolhas em centrífuga da marca FANEM (modelo Excelsa ® II – 206 BL) e depositadas em placas de teflon. Estas soluções foram secas a 23 °C com circulação de ar por cerca de 48 horas para formação dos filmes. Os filmes formados foram removidos das placas e colocados em dessecadores a 23±2 °C e 55% de umidade relativa por pelo menos 48 horas antes da realização das análises mecânicas e permeabilidade ao vapor de água. Os experimentos foram realizados em réplicas. Os filmes reticulados com ácido cítrico seguiram o método utilizado por Thomas et al. (2009) adaptado. Após a agitação em Ultra Turrax,

a solução aquosa foi submetida a agitação em agitador magnético TECNAL (modelo TE-085) para adição de ácido cítrico 1:0,4 (mucilagem:ácido cítrico) à solução inicial, a qual foi mantida sob agitação em chapa de aquecimento por 3 horas a 40 °C, sendo que após 1 hora de início desse processo, foi adicionado 2% (m/m) de ácido p-tolueno sulfônico como catalisador da reação. Por fim, procedeu-se à centrifugação e secagem conforme empregadas nos demais filmes.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES

3.4.1 Aspecto geral dos filmes

Os filmes de mucilagem de *Cereus* com e sem plastificante se mostraram contínuos, sem fraturas ou rupturas após a evaporação do solvente. Os filmes sem plastificante se mostraram mais quebradiços, principalmente aqueles reticulados com ácido cítrico.

Quanto à manuseabilidade dos filmes, foi de fácil remoção da placa de teflon, apesar de que os filmes com maior proporção de glicerol (1:1m/m) apresentaram maior adesão à placa, sendo necessário maior cuidado em sua remoção para que não houvesse fratura. Resultado semelhante foi relatado por Mali et al. (2006).

3.4.2 Espessura dos filmes

Após período de acondicionamento, a espessura dos filmes de *Cereus hidmaniannus* foi obtida utilizando micrômetro digital (Digimess, IP54). A espessura foi fixada como sendo a média aritmética de 10 medidas aleatórias sobre a área do filme.

3.4.3 Permeabilidade ao vapor d'água

A permeabilidade ao vapor de água (PVA) dos filmes de *Cereus hidmaniannus* foi determinada por gravimetria a 25 °C, utilizando a norma da ASTM, método E96-95 (ASTM, 1995). Os filmes foram cortados com 65 mm de diâmetro e dispostos em células de alumínio com permeação em recipiente contendo cloreto de cálcio anidro. Essas células foram colocadas em dessecadores a 25 °C e 75 % de umidade relativa. O ganho de massa de cloreto de anidro foi medido em intervalos de 1 h por um período de 9 h, através de sucessivas pesagens em balança analítica

da marca SHIMADZU (modelo AUY 220). Assim foi possível determinar o vapor de água transferido através do filme de acordo com a Equação 1 (conforme mostrada anteriormente no item 2.4.3).

3.4.4 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR)

O espectro de absorção na região do infravermelho, FT-IR, dos filmes de *Cereus hidmaniannus* foi obtido em espectrofotômetro da marca Bruker, modelo TENSOR 27, com resolução 4 cm^{-1} , com 32 varreduras na região compreendida entre 4000 a 600 cm^{-1} , utilizando a técnica de reflectância atenuada (ATR) com transformada de Fourier, disponível no Laboratório de Materiais (LABMAT) do Departamento de Engenharia Mecânica, da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

3.4.5 Análise Termogravimétrica

A análise termogravimétrica (TG/DTA) dos filmes de *Cereus hidmaniannus* foi realizada em um analisador térmico STA 449 F1 Jupiter® (Netzsch), do Laboratório de Materiais (LABMAT) da Universidade Federal de Santa Catarina. As análises foram realizadas em uma faixa de temperatura de 30 a $600\text{ }^{\circ}\text{C}$, a uma taxa de aquecimento de $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$, utilizando fluxo de nitrogênio de $50\text{ cm}^3\cdot\text{min}^{-1}$.

3.4.6 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

As análises da morfologia dos filmes de *C. hildmaniannus* foram realizadas em um microscópio eletrônico de varredura (MEV) da marca Jeol, modelo JSM-6390LV, com fonte de elétrons de tungstênio e detector de elétrons secundários, localizado no Laboratório Central de Microscopia Eletrônica, da Universidade Federal de Santa Catarina. Para a obtenção das imagens da superfície dos filmes de *Cereus*, as amostras foram coladas com fita de carbono dupla face em um suporte metálico, recobertas com uma fina camada de ouro e observadas utilizando tensões entre 10 e 15 kV .

3.4.7 Capacidade máxima de absorção de água dos filmes

A absorção máxima de água dos filmes secos foi determinada empregando-se corpos de provas de $6\times 1\text{ cm}^2$ em triplicata, de acordo com a

metodologia utilizada por Rodrigues et al. (2008). Os filmes foram pesados em balança analítica Shimadzu (modelo – AUY220) para determinação da massa seca e, posteriormente, hidratados em 5 mL de água em placas de Petri por 24 h em estufa STERILIFER com circulação de ar a 37 °C. Após esse período, o excesso de solvente foi removido com a ajuda de papel filtro e os corpos de prova foram novamente pesados em balança analítica para a determinação da massa úmida. A capacidade máxima de absorção de água (C_w), foi determinada através da Equação 2:

$$C_w = \frac{(M_U - M_S)}{M_S} \quad (2)$$

onde: M_U é a massa úmida final e M_S é a massa seca dos filmes.

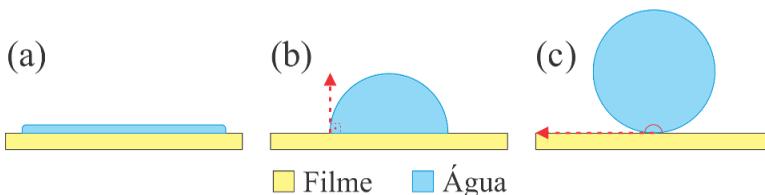
3.4.8 Quantificação dos açúcares solúveis totais liberados em água pelos filmes.

A extração de açúcares solúveis totais presentes nos filmes de *Cereus*, foi feita de acordo com a metodologia proposta por Shannon (1968), utilizando uma alíquota de 4 mL da solução aquosa do ensaio de absorção de água. As amostras foram liofilizadas (20 mg – massa seca) e maceradas com 2 mL da solução MCW (metanol:clorofórmio:água) (12:5:3, v/v). A solução foi centrifugada (3000 rpm) por 5 minutos, o sobrenadante foi coletado e o resíduo foi novamente extraído com 2 mL da solução de MCW (5 minutos, 3000 rpm). Os sobrenadantes foram reunidos, adicionados de 1 mL de clorofórmio e 1,5 mL de água e o extrato foi novamente centrifugado. A fase superior dos extratos foi coletada e utilizada para análise dos açúcares. A dosagem dos açúcares solúveis totais foi realizada de acordo com o método de Umbreit e Burris (1964). Alíquotas de 1 mL do extrato foram acrescidos de 2 mL do reagente antrona (200 mg de antrona em 100 mL de ácido sulfúrico concentrado), sendo agitados em vórtex e aquecidos em banho-maria a 100 °C por 3 minutos. Após, procedeu-se a leitura das amostras a 630 nm em espectrofotômetro UV-Vis (Spectrophotometer SPECTRO LGS53, Bel Engineering, Milano, Italy). A quantificação dos açúcares solúveis totais foi feita a partir da curva padrão de glicose (10 a 200 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$). Os resultados foram expressos em mg de glicose por g de massa seca.

3.4.9 Medidas de ângulo de contato

O método da gota sésil foi utilizado para avaliação do ângulo de contato (θ), do qual é possível avaliar a hidrofobicidade/hidrofilicidade de uma gota de água na superfície do filme (Figura 8). A imagem foi capturada com o auxílio de uma câmera filmadora de alta resolução acoplada ao goniômetro (Hamé-Hart, modelo 250, Succassuna, NJ). O equipamento capta pequenos volumes de gota e, por um *software* instalado a um computador, realizaram-se os cálculos pertinentes ao experimento. Um esquema de representação de um líquido em uma superfície sólida pode ocorrer de três formas. A molhabilidade ocorre quando (a) $\theta = 0^\circ$, (b) $0^\circ < \theta < 90^\circ$ (superfície hidrofílica) e a não molhabilidade quando (c) $90^\circ < \theta < 180^\circ$ (superfície hidrofóbica).

Figura 8 - Esquema representativo de um líquido sobre uma superfície sólida.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

3.4.10 Propriedades Mecânicas dos Filmes

As propriedades mecânicas dos filmes foram determinadas utilizando um texturômetro TA. HD. Plus, (Stable Micro Systems) disponível Central de Análises do EQA-UFSC, com uma célula de carga de 50 N. As amostras foram cortadas com 10 mm de largura e 70 mm de comprimento e posteriormente acondicionadas à temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $55 \pm 3\%$ por 48 h, antes dos ensaios. Como parâmetros para a efetivação dos ensaios foram adotados uma distância inicial de separação das garras de 50 mm e uma velocidade de 1 mm s^{-1} de acordo com o método ASTM D882 (ASTM, 2001; SHI et al., 2016). Os ensaios, que permitiram obter resultados de tensão máxima (σ), alongamento percentual (ϵ) e módulo de Young (MY), foram realizados a partir de cinco repetições para cada formulação filme (0:1, 1:4, 1:2 e 1:1). Os valores da tensão de ruptura, σ , e da elasticidade, ϵ , foram obtidos com as equações 3 e 4, respectivamente. O módulo de Young (Y) é obtido pela razão entre σ e ϵ (Equação 5).

$$\sigma = \frac{F_m}{A_0} \quad (3)$$

sendo, F_m a força máxima aplicada no momento de ruptura (N), A_0 é a área da secção transversal do filme (m^2).

$$\varepsilon = \frac{(L_F - L_0)}{L_0} \times 100 \quad (4)$$

sendo, L_F o comprimento final do filme (cm) e L_0 o comprimento inicial (cm).

$$Y = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (5)$$

sendo σ a tensão aplicada e ε a deformação longitudinal do filme.

3.4.11 Caracterização óptica dos filmes

A determinação de cor foi realizada através de um colorímetro MiniScan (EZ, HunterLab, USA) e a escala do sistema CIELab. Esse sistema admite a especificação de percepções de cores em termos de um espaço tridimensional, onde a axial L^* é conhecida como luminosidade e varia de preto (0) ao branco (100), a^* do verde (-60) ao vermelho (+60) e b^* apresenta variação do azul (-60) ao amarelo (+60) (GENNADIOS et al., 1996). Os testes foram realizados em triplicata. A partir desses dados foi possível calcular a diferença total de cor (ΔE), através da equação (6), índice de amarelecimento (Y_i) pela equação (7) e de transparência (W_i) pela equação (8) de acordo com Ahmadi et al., 2012.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (6)$$

Onde:

$$\Delta L^* = L^* - L_0^*$$

$$\Delta a^* = a^* - a_0^*$$

$$\Delta b^* = b^* - b_0^*$$

sendo $L_0^* = 95,40$; $a_0^* = 0,3162$ e $b_0^* = 33,26$ os valores de cor do padrão obtidos através da calibragem do equipamento.

$$Y_i = \frac{142.86b^*}{L^*} \quad (7)$$

$$W_i = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}} \quad (8)$$

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados foram tratados estatisticamente através de Análise de variância (ANOVA) e pelo teste de Tukey a 95% de confiança, utilizando o software *Statistica 10.0* (StatSoft, Tulsa, Estados Unidos).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PRECIPITAÇÃO DA MUCILAGEM E DESENVOLVIMENTO DOS FILMES

De acordo com o estudo realizado por Sepulveda et al. (2007), a precipitação e purificação da mucilagem com etanol gera um pó levemente amarelado ou esbranquiçado, dependendo da fonte, análogo ao de outras gomas comerciais. O etanol reage diferentemente com os diversos sacarídeos, podendo dissolver parte da clorofila presente na planta, mas também purificando e precipitando a mucilagem.

Ensaio preliminares mostraram que a preparação de filme sem adição de plastificante é possível, mas que se apresentam, no entanto, quebradiços e de difícil manuseio. Desta forma optou-se pela adição de um plastificante, e dentre os previamente avaliados, foi escolhido o glicerol de forma a melhorar as características mecânicas. Os testes mostraram que a concentração de mucilagem adequada para a formação do filme foi de 1% (m/v) com adição de glicerol na proporção 1:4 (m/m) glicerol: mucilagem. Os filmes com maior concentração de glicerol na proporção (1:1 m/m) se mostraram mais flexíveis e pegajosos.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES

4.2.1 Espessura dos filmes

A Tabela 4 mostra o resultado da espessura média dos filmes de *Cereus hidmaniannus* a partir de 10 medidas aleatórias.

Tabela 4 - Média e desvio padrão da espessura dos filmes.

Filmes (glicerol:mucilagem (m/m))	Espessura (mm)
0:1	0,1065 ± 0,001 ^{a*}
1:4	0,1106 ± 0,002 ^a
1:2	0,1405 ± 0,002 ^b
1:1	0,1773 ± 0,004 ^c
Reticulado	0,1376 ± 0,002 ^b

Letras iguais na mesma coluna mostram que não diferem significativamente entre si ($p < 0,05$). * Média ± desvio padrão.

Fonte: desenvolvido pelo autor.

Para uma concentração constante de MP (1%), os filmes preparados com diferentes concentrações de glicerol nas proporções 1:4, 1:2 e 1:1 glicerol: mucilagem (m/m) tiveram espessuras variando de 0,1106-0,1773 mm (Tabela 1). As amostras com maior concentração do plastificante glicerol absorvem mais umidade e consequentemente promovendo o inchamento do filme. Isto levou a um aumento na espessura do mesmo. Os valores de espessura encontrados no presente trabalho foram maiores que os relatados por Ahmadi et al. (2012) ao desenvolverem filmes da semente de psílio (*Plantago ovata* Forsk), devido às diferenças nas concentrações de glicerol e procedimentos de produção dos filmes. No trabalho de Jouki et al. (2013), apesar de também apresentar uma menor espessura que os relatados no presente estudo, foi possível notar que não houve diferença significativa ($p < 0,05$) para os filmes com 0:1 e 1:4(m/m) glicerol:goma (m/m). Já no estudo de Razavi et al. (2014), nos filmes à base de goma de semente de *Salvia* em que foi utilizado 1,5% de goma com a mesma proporção de glicerol:goma (1:1 m/m) vertidos e placas de 15 cm (no presente estudo em placas de 10 cm). Os valores de espessura foram próximos (0,115 mm) ao encontrado neste trabalho (0,117 mm). Para os filmes 1:0 e 1:4 (m/m), não se notou diferença estatística significativa ($p < 0,05$), o que pode ser atribuído à baixa quantidade de glicerol utilizado na formulação 1:4 (m/m).

O aumento da espessura nos filmes em presença de um plastificante pode ser atribuído à função das moléculas plastificantes no rompimento das ligações intermoleculares entre cadeias de polímero, levando assim, a organização e reestruturação do polímero para uma estrutura mais alargada e consequente aumento de volume, o que resulta em filmes mais espessos (RAZAVI et al., 2014).

A espessura de um filme deve ser designada de acordo com a sua finalidade de aplicação (SARMENTO, 1999). Materiais poliméricos para aplicação cutânea devem ser mais finos que a pele humana, a qual varia entre 0,5 e 2 mm de acordo com a idade, sexo e região do corpo do indivíduo (MA et al., 2001). Nesse contexto, os filmes produzidos nesse estudo se encontram na faixa de espessura comumente utilizada em curativos.

4.2.2 Propriedades Mecânicas

A Tabela 5 expressa os resultados obtidos para a tensão máxima de resistência a tração (σ), alongamento percentual (ϵ) e módulo de Young (Y).

Tabela 5 – Propriedades mecânicas dos filmes.

Filme glicerol:mucilagem (m/m)	σ(MPa)	ε(%)	Y(MPa)
0:1	27,91±5,77 ^a	0,36±0,25 ^a	2359,32±377,13 ^a
1:4	22,73±5,83 ^a	6,13±3,11 ^b	732,40±161,65 ^b
1:2	7,14±0,65 ^b	17,04±2,65 ^c	60,22±4,20 ^c
1:1	3,14±0,91 ^b	19,10±5,01 ^c	39,87±2,59 ^c

Letras iguais na mesma coluna mostram que não diferem significativamente entre si ($p < 0,05$). * Média \pm desvio padrão.

Com o aumento da concentração de glicerol, pode-se perceber variações significativas entre as diferentes formulações dos filmes. A Resistência a Tração dos filmes variou de 27,91 a 3,14 MPa, e foi possível observar que os filmes com menor concentração do plastificante glicerol (0:1 e 1:4m/m) não diferiram estatisticamente entre si a nível de 5% de significância; o mesmo ocorreu entre as formulações com maiores concentrações de glicerol (1:2 e 1:1 m/m). Comportamento semelhante foi observado com relação ao alongamento dos filmes: os valores obtidos variaram de 0,62 a 17,21 %. O módulo de Young variou de 2359,32 a 39,87 MPa e mostrou que houve diferença significativa nos filmes 0:1, 1:4, porém não houve entre os filmes 1:2 e 1:1. O resultado obtido nesse estudo para a formulação 1:4(m/m) (732,40 MPa) foi semelhante ao encontrado no trabalho de Dick et al., (2015) (778,40 MPa) para filmes feitos a partir da mucilagem de chia com a mesma proporção de glicerol adicionado ao filme.

O aumento da concentração de glicerol favorece a elevação da deformação na tração dos filmes, e isto provavelmente se deve à capacidade do glicerol em reduzir as interações entre cadeias poliméricas, diminuindo assim a resistência do filme e aumentando a flexibilidade (SOTHORNVIT; KROCHTA, 2000). Segundo Zhang e Han (2006), a água presente nos filmes plastificados com glicerol não só interage com grupos hidroxilas do polímero, mas também se posicionam entre o polímero e a molécula de glicerol. Portanto, ocorre o aumento da distância espacial entre a cadeia polimérica, o que induz a redução da Resistência a tração resultante.

O efeito do incremento da concentração de plastificante sobre as propriedades mecânicas do filme tem sido amplamente discutido na literatura. Diversos autores como Ahmadi e colaboradores (2011), que estudaram o efeito da adição de glicerol em filmes de sementes de psílio (*Plantago ovata* Forsk), constataram que o aumento da concentração foi

responsável pelo aumento no percentual de alongamento ($\epsilon\%$), diminuição da tensão de ruptura (σ) e do Módulo de Young (MPa). Em trabalho recente Haq et al. (2013) avaliaram o efeito de plastificantes ao caracterizarem os filmes de goma de cordia; o resultado mostrou que a adição de plastificantes (glicerol, sorbitol entre outros) levou acentuados valores de tensão de ruptura (σ) e alongamento (%). Segundo Oliveira (1996), o módulo de elasticidade ou módulo de Young expressa a relação entre a resistência à tração (σ) e porcentagem de alongamento (ϵ), e indica a rigidez do filme, ou seja, quanto maior o valor do módulo de Young (Y) mais rígido será o filme.

De acordo com Wang et al. (2002), uma das desvantagens ao se utilizar biopolímeros para produção de curativos, é que quando comparados a polímeros sintéticos, os biopolímeros costumam apresentar menor resistência mecânica. Os autores afirmam que a resistência à tração da pele sadia varia de 2,5 a 16 MPa, e por esse motivo é de caráter relevante a avaliação desses biopolímeros que serão utilizados como curativos. No presente trabalho os filmes elaborados com a mucilagem do *Cereus* se encontram dentro da faixa da resistência à tração de uma pele sadia.

4.2.3 Permeabilidade ao vapor de água (PVA)

A Tabela 6 mostra os resultados referentes à permeabilidade ao vapor de água dos filmes de *Cereus hildmaniannus*.

Tabela 6 – Resultado da permeabilidade ao vapor de água dos filmes de *Cereus*.

Filmes glicerol:mucilagem (m/m)	PVA (g mm/kPa h m ²)
0:1	0,32 ± 0,02 ^a
1:4	0,34 ± 0,07 ^a
1:2	0,84 ± 0,17 ^b
1:1	1,11 ± 0,17 ^b

Letras iguais na mesma coluna mostram que não diferem significativamente entre si ($p < 0,05$). * Média ± desvio padrão.

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

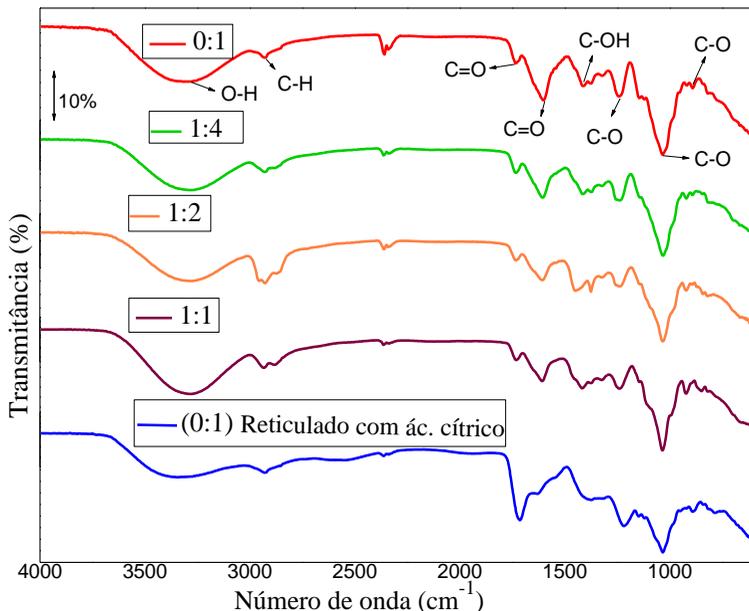
Diversos autores afirmam que filmes que possuem glicerol em sua formulação apresentam comportamento linear quanto ao aumento da PVA com a concentração de glicerol adicionada, o que pode ser atribuído

ao aumento da molhabilidade das cadeias poliméricas facilitando a difusão da água através do filme (GONTARD et al., 1993). Os valores da PVA encontrados no presente estudo estiveram na faixa de 0,328 – 1,110 g mm/kPa h m² para as formulações (0:1, 1:4, 1:2 e 1:1) de glicerol por massa de mucilagem e são similares aos relatados por alguns autores na literatura para filmes de biopolímeros. Foi possível observar que as formulações 1:0 e 1:4, diferiram estatisticamente das demais formulações 1:2 e 1:1. Khazaei et al. (2014), ao caracterizarem goma de semente de manjeriço, obtiveram $0,806 \pm 0,01$ mm/kPa h m² para filmes com 50% de glicerol. O presente estudo forneceu o valor $0,844 \pm 0,17$ g mm/kPa h m² para a mesma concentração (1:2 m/m). Muñoz et al. (2012) elaboraram filmes contendo mucilagem de chia, proteico concentrado de soro e glicerol em diferentes proporções, cujo valor próximo a 0,620 g mm/kPa h m² foi encontrado. Souza et al. (2013) relatam o aumento significativo ($p \leq 0,05$) em filmes de quitosana $0,1725 \pm 1,25 \times 10^{-3}$ g mm/kPa h m² e $0,282 \pm 3,33 \times 10^{-3}$ g mm/kPa h m² para filmes contendo quitosana e glicerol. Haq et al. (2014), ao caracterizarem filmes de goma de Cordia com diferentes plastificantes, puderam observar que o incremento de glicerol aumentou linearmente a permeabilidade ao vapor de água dos filmes, mas o mesmo não pode ser observado com os filmes PEG 200 e PEG 400 que tiveram uma redução inicial seguida de um aumento da PVA.

4.2.4 Infravermelho com transformada de Fourier

Através da técnica de espectroscopia de absorção na região do infravermelho, foram identificados os principais grupos funcionais do filme do fruto de *Cereus hildmaniannus* na sua forma pura (0:1), com adição de glicerol nas proporções de 1:4, 1:2 e 1:1 bem como o filme 0:1 reticulado com ácido cítrico. Os espectros de FT-IR dos filmes estão apresentados na Figura 9.

Figura 9 - Espectros de absorção na Região do Infravermelho dos filmes de *Cereus hildmaniannus*.



Fonte: Desenvolvido pelo Autor.

Analisando os espectros dos filmes (Figura 9) na sua forma pura (0:1) e com adição de glicerol (1:4, 1:2 e 1:1 m/m) percebe-se que todas as amostras apresentam uma banda intensa e larga entre 3570 e 3200 cm^{-1} com absorção em aproximadamente 3325 cm^{-1} , sendo atribuído ao estiramento vibracional do grupo O-H (SILVERSTEIN et al., 2006, PAVIA et al., 2008). Avaliando ainda o espectro do filme puro, as vibrações fora do plano da ligação C-O correspondente à estrutura sacarídea, aparecem em 1034 cm^{-1} e 885 cm^{-1} , juntamente do pico próximo a 1236 cm^{-1} representando o estiramento C-O em polissacarídeos (CAI et al., 2008). Ainda sobre o filme puro, observa-se uma banda de estiramento de C-H em aproximadamente 2931 cm^{-1} , a banda de estiramento da ligação C=O pode ser observado na faixa de 1740-1725 cm^{-1} com absorção em 1739 cm^{-1} , sendo característico de aldeídos alifáticos (PAVIA et al., 2008). Dessa forma, os resultados encontrados nos espectros de infravermelho para o filme puro de mucilagem estão de acordo com os de Colonetti (2012), que caracterizou a fração solúvel do fruto da mucilagem precipitada de *Cereus hildmaniannus* K. Schum.

Na tabela 7 são identificadas as principais vibrações correspondentes aos grupos químicos encontrados nos espectros dos filmes.

Tabela 7 – Principais vibrações correspondentes aos grupos químicos dos filmes da mucilagem do fruto de *C. hildmaniannus*.

Bandas (cm⁻¹)	Grupos Químicos Associados
3570 – 3200 (3412)	O-H ligado
2955 – 2845 (2931)	vC-H ₂ (ass)
1034 e 885	vCOC (estrutura sacarídea)
1236	C-O
1739	vC=O

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

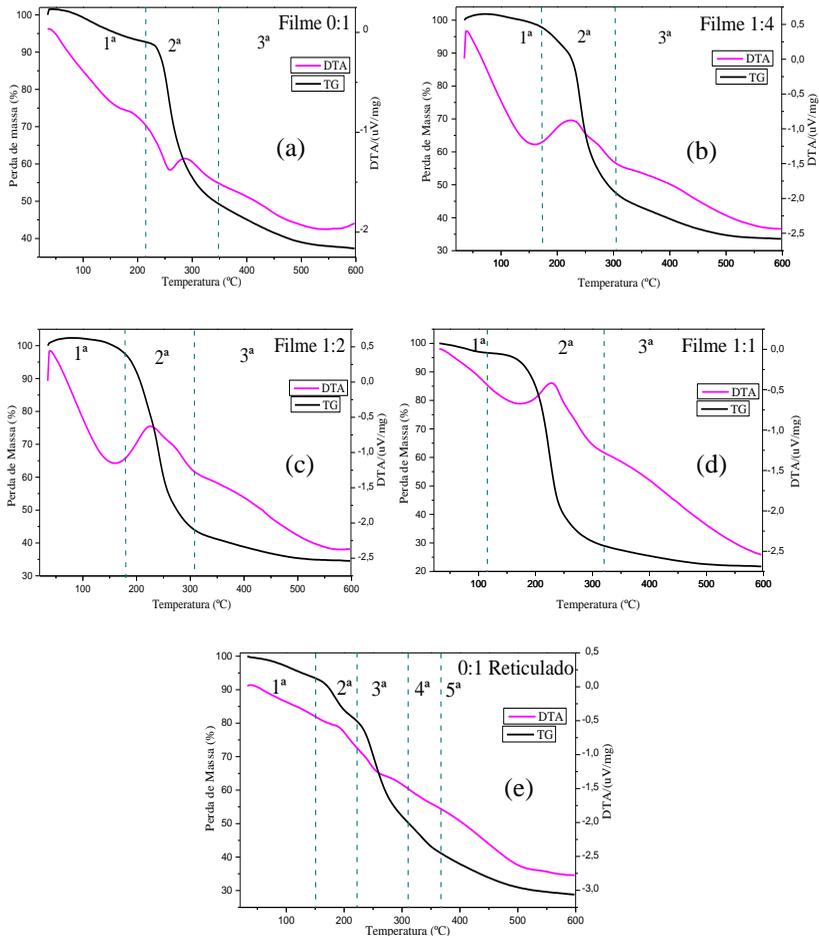
O espectro do filme de mucilagem reticulado indica que o processo de reticulação com ácido cítrico foi efetivo, quando comparado com o espectro do filme na sua forma pura, sendo observada uma redução na intensidade na banda do estiramento vibracional do grupo O-H entre 3570 a 3200 cm⁻¹ (PAVIA et al., 2008) e o aumento da intensidade do pico referente à carbonila do éster em aproximadamente 1718 cm⁻¹. Esse comportamento pode ser atribuído ao processo de reticulação, sendo semelhante ao trabalho desenvolvido por Reddy e Yang (2010), os quais estudaram os efeitos da reticulação com ácido cítrico em filmes de amido e ao trabalho de Abdulsamad et al. (2015) que avaliaram a derivatização da goma de caju via reticulação com ácido cítrico.

4.2.5 Análise termogravimétrica

A análise termogravimétrica permite observar o comportamento térmico dos filmes avaliados, atribuindo uma ideia da estabilidade térmica do material.

A figura 10, apresenta os termogramas referentes a análise térmica (TG-DTA) dos filmes na sua forma pura, com adição de glicerol e reticulado com ácido cítrico com suas respectivas etapas de decomposição térmica.

Figura 10 – Curvas de (TG-DTA) dos filmes (a) 0:1 (b) 1:4 (c) 1:2 (d) 1:1 e (e) 0:1 Reticulado.



Fonte: Desenvolvido pelo Autor.

A tabela 8, apresenta as etapas de decomposição térmica e a massa residual dos filmes de *Cereus hildmaniannus*.

Tabela 8 – Etapas da decomposição térmica dos filmes.

Filme		0:1	1:2	1:4	1:1	0:1 R	
Etapas de decomposição térmica	1°	°C	215	180	180	123	150
		%	7,27	2,68	2,68	3,45	6,57
	2°	°C	347	302	302	321	220
		%	43,35	48,05	52,67	67,62	12,56
	3°	°C	598,6	598,6	598,6	598,6	308
		%	12,06	17,35	10,12	7,17	31,03
	4°	°C	--	--	--	--	360
		%	--	--	--	--	7,94
	5°	°C	--	--	--	--	598
		%	--	--	--	--	13,1
Massa Residual		37,32	33,59	34,53	21,76	28,80	

Fonte: Desenvolvido pelo Autor.

Através das curvas de TG-DTA dos filmes (0:1, 1:4, 1:2 e 1:1), observa-se o comportamento térmico caracterizado pela redução na estabilidade térmica conforme o aumento da concentração de plastificante, sendo que para os filmes, a primeira etapa de decomposição térmica corresponde à dessorção de umidade de ligações de hidrogênio da estrutura polissacarídea (ZOHURIAAN, M. J.; SHOKROLAHI, F., 2004). A curva de DTA dos filmes 1:4, 1:2 e 1:1, (adicionados de glicerol) apresentou uma endoterma iniciando em aproximadamente 100 °C, relacionando que a 2ª e a 3ª etapa de decomposição térmica desses filmes correspondem à volatilização do plastificante glicerol, juntamente da oxidação/fusão do biopolímero (ZOHURIAAN, M. J.; SHOKROLAHI, F., 2004).

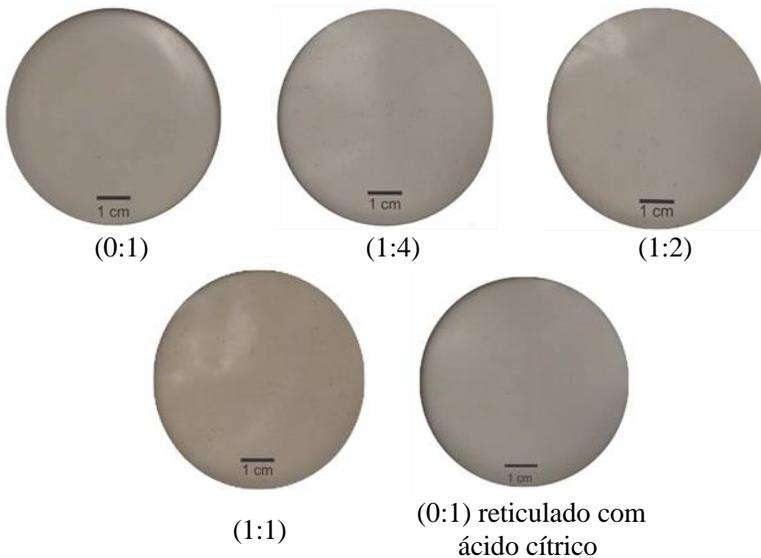
Para a curva de TG-DTA do filme reticulado com ácido cítrico, pode-se observar que o efeito de reticulação não melhorou a estabilidade térmica do filme quando comparados aos filmes adicionados de glicerol.

4.2.6 Aspecto visual e morfológico da superfície dos filmes de *Cereus hildmaniannus*

Os filmes obtidos a partir da mucilagem do fruto de *Cereus hildmaniannus* precipitado (Figura 11) apresentaram uma tonalidade levemente amarelada, sendo que o filme com a maior incorporação do plastificante glicerol (1:1) se mostrou mais escuro que os demais filmes.

Quanto à fragilidade dos filmes, foi possível observar que quanto maior a concentração do plastificante, menor a fragilidade dos filmes, sendo o filme 1:2 maleável e o 1:1 extremamente maleável e levemente pegajoso. O filme reticulado com ácido cítrico se mostrou muito quebradiço, dificultando seu manuseio.

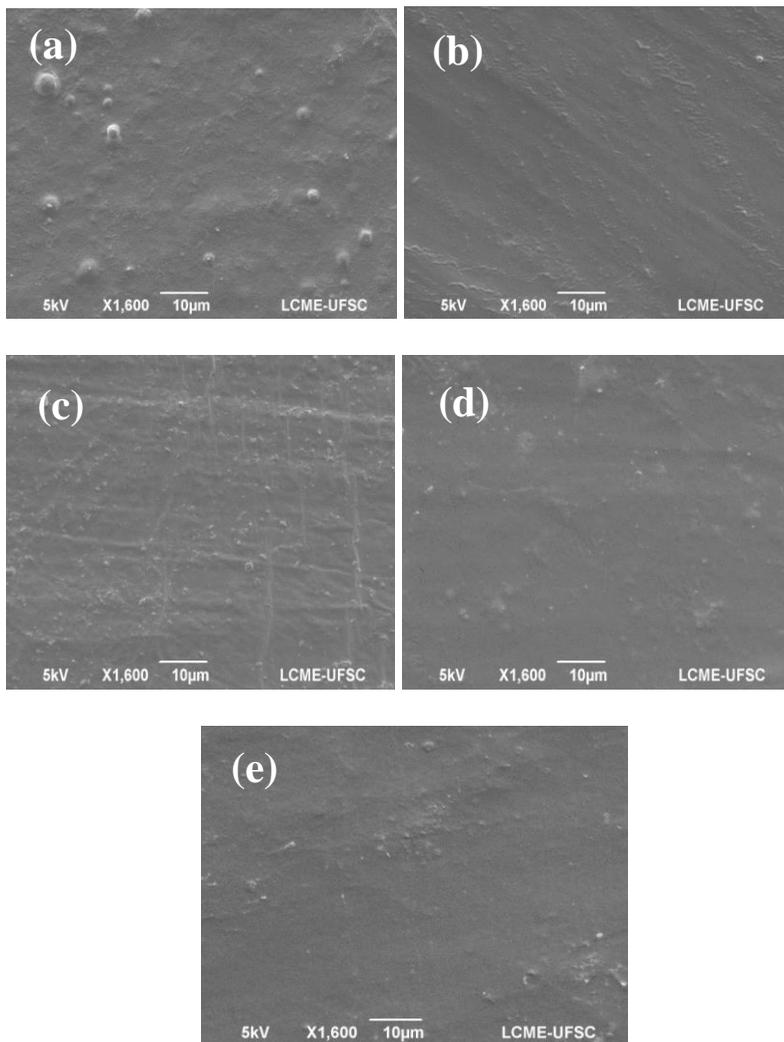
Figura 11 - Aspecto visual dos filmes de *Cereus hildmaniannus* com diferentes proporções de glicerol:mucilagem (m/m).



Fonte: Desenvolvido pelo Autor.

As imagens da superfície dos filmes de mucilagem obtidas por MEV, com ampliação de 1600 vezes estão apresentadas na Figura 12.

Figura 12 - Micrografias dos filmes de *C. hildmaniannus*. Amostras: a) 0:1; b) 1:4; c) 1:2; d) 1:1; e) 0:1 Filme Reticulado.



Fonte: Desenvolvido pelo Autor.

Na tentativa de visualizar mudanças microestruturais na superfície dos filmes, a análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi realizada. A micrografia dos filmes sem plastificante (0:1 e 0:1 reticulado) e dos filmes com diferentes concentrações de plastificante (1:4, 1:2,

1:1) apresentou uma superfície uniforme sem a presença de poros ou fissuras. Não foi percebida diferença marcante na estrutura dos filmes com diferentes concentrações de glicerol apesar de filmes com plastificante apresentarem uma superfície relativamente lisa e uniforme. Estes resultados foram semelhantes aos obtidos por Jouki et al. (2013) que estudaram filmes CSG (goma de semente de agrião) com diferentes concentrações de glicerol, bem como os de Dick et al. (2015) que avaliaram a concentração de glicerol em filmes de mucilagem de chia.

4.3 PROPRIEDADES DA MUCILAGEM EM ÁGUA

4.3.1 Absorção de água dos filmes

A tabela 9 apresenta a capacidade de absorção dos filmes após 24 horas de armazenamento.

Tabela 9 – Capacidade de absorção de água dos filmes em 24 horas.

Filmes Glicerol: mucilagem (m/m)	Capacidade de absorção (g/g)
0:1	22,80 ± 1,44 ^a
1:4	16,14 ± 1,49 ^b
1:2	11,62 ± 1,34 ^c
1:1	9,32 ± 0,79 ^c
0:1 Reticulado	14,98 ± 0,74 ^b

*Valores médios ± desvio padrão em triplicata. Letras sobrescritas diferentes na mesma coluna indicam que houve diferença significativa ($p < 0,05$).

Fonte: Desenvolvido pelo Autor.

A capacidade máxima de absorção de água dos filmes apresentou valores entre 9,32 e 22,80 g de H₂O/g filme. Estes valores foram superiores aos encontrados por Rodrigues et al. (2008), que ao prepararem e caracterizarem membranas de quitosana e alginato, observaram que a adição de glicerol na matriz das membranas teve um efeito negativo na absorção de água das membranas, devido a possível diminuição do número dos grupos disponíveis para interagir com o solvente. Isto também foi observado no presente trabalho e, quanto maior a concentração de glicerol na matriz do filme menor a capacidade de absorção de água. Ao passo que o filmes reticulado com ácido cítrico e o filme não reticulado (0:1

m/m), diferiram estatisticamente entre si, mostrando que a reticulação diminui a capacidade de hidratação do filme.

4.3.2 Potencial de aplicação: liberação dos açúcares totais presente nos filmes

O processo de liberação dos açúcares presentes nos filmes de *Cereus* constituem um potencial de aplicação na forma de curativos, considerando que a liberação desses açúcares representa a efetividade no processo de cura de uma determinada lesão (COELHO et al., 2002). E para tanto, através da análise de açúcares, foi possível observar que de fato os açúcares presentes nos filmes de mucilagem de *Cereus* são liberados em solução aquosa com a hidratação do filme. Sabemos que a mucilagem presente no fruto é rica em monossacarídeos que podem favorecer a cicatrização da pele como mencionado anteriormente. A Tabela 10 apresenta os açúcares totais presente na fração solubilizada dos filmes.

Tabela 10 – Açúcares totais liberados do filme após 24 horas.

Filme glicerol: mucilagem (m/m)	Açúcares Totais (g/100g massa seca)
0:1	1,99±0,003 ^a
1:4	1,85±0,002 ^a
1:2	1,60±0,001 ^a
1:1	0,94±0,001 ^c
0:1 Reticulado	1,02±0,001 ^c

*Valores médios ± desvio padrão em triplicata. Letras sobrescritas diferentes na mesma coluna indicam que houve diferença significativa ($p < 0,05$).

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

A presença de açúcares na fração solúvel de *Cereus* foi estabelecida anteriormente em trabalhos realizados no mesmo seguimento de pesquisa, no qual caracterizaram quantitativamente e qualitativamente os açúcares presentes na mucilagem dessa cactaceae, encontrando 7,59 g/100g (PILETTI, 2011) e 17,04 g/100g (COLONETTI, 2012). Essa divergência na quantificação dos açúcares presentes na mucilagem, pode ser atribuída às diferentes metodologias adotadas em ambos os trabalhos, sendo que Piletti (2011) realizou a análise a partir da técnica Dubois e Colonetti (2012) usou cromatografia gasosa.

Assim, a quantidade de açúcares totais liberada dos filmes em 24 horas variou de 0,942 a 1,99 g/100g de massa seca. Com esses resultados

foi possível avaliar também que o filme reticulado com ácido cítrico liberou uma quantidade menor de açúcares que o filme puro (0:1 m/m), sendo este comportamento atribuído ao efeito de reticulação do filme.

4.3.3 Ângulo de Contato

A Tabela 11 mostra o ângulo de contato dos filmes da mucilagem de *C. hildmaniannus*.

Tabela 81 – Análise de ângulo de contato dos filmes.

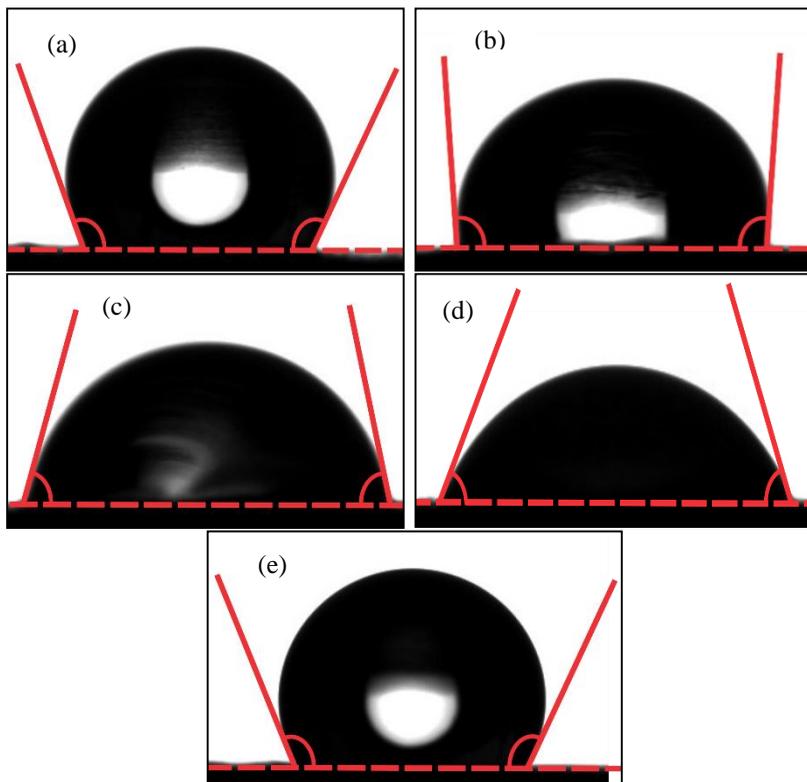
Filmes	Ângulo de contato (°) *
Glicerol: mucilagem	
0:1	108,08 ± 1,20 ^a
1:4	95,80 ± 1,15 ^b
1:2	84,83 ± 0,52 ^c
1:1	75,93 ± 0,09 ^d
0:1 Reticulado	105,57 ± 0,48 ^a

*Valores médios ± desvio padrão em triplicata. Letras sobrescritas diferentes na mesma coluna indicam que houve diferença significativa ($p < 0,05$).

Fonte: Desenvolvido pelo Autor.

Na Figura 13 é possível observar a imagem da análise de ângulo de contato dos filmes.

Figura 13 - Imagem da gota de água sobre a superfície dos filmes, (a) 0:1, (b) 1:4, (c) 1:2, (d) 1:1 e (e) 0:1 Reticulado com Ácido Cítrico.



Fonte: Desenvolvido pelo Autor.

A medida de ângulo de contato foi empregada para avaliar o caráter hidrofílico dos filmes estudados. Com base nos resultados apresentados na Tabela 6 e na Figura 13, foi possível observar a diminuição significativa do ângulo de contato com a água de $108,08^\circ$ para $75,93^\circ$. Ahamadi et al., (2012) também observaram uma diminuição no ângulo ($84,47^\circ$ para $41,01^\circ$) em filmes feitos a partir da semente de psílium com a adição de glicerol. Os ângulos de contato dos filmes (Figura 13c e 13d) foram menores que $\theta < 90^\circ$ e mostram uma superfície predominantemente hidrofílica. Nos demais filmes (Figuras 13a, 13b e 13e), os ângulos de contato foram maiores ($\theta > 90^\circ$), predominando uma superfície hidrofóbica.

Assim, pode-se observar que conforme aumenta a quantidade de plastificante no filme, maior a afinidade com a água, ou seja, sua molhabilidade, que aumenta gerando um ângulo de contato menor.

O aumento da quantidade de glicerol conduziu a um valor de ângulo de contato gradualmente menor, devido à hidrofiliidade do mesmo na matriz do filme. Dessa forma, aceita-se que o ângulo de contato dos filmes com a água será maior com o aumento da sua hidrofobicidade. Esses resultados foram reportados por Khazaei et al. (2014) em filmes da goma de semente de manjeriço (BSG).

4.4 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE COR

Os parâmetros de cor são de grande importância na análise de filmes. Esses parâmetros permitem que seja medida a variação total da cor relacionada a diferentes condições de produção a partir das coordenadas L, a^* e b^* , assim como dos índices de amarelamento e de brancura para os materiais que compõem os filmes. A Tabela 12 apresenta os parâmetros de cor obtidos a partir da avaliação dos filmes.

Tabela 92 - Parâmetros de Cor L^* , a^* , b^* e Variação Total de Cor (ΔE) dos materiais.

Filme	L^*	a^*	b^*	ΔE
0:1	84,76±0,95 ^a	-1,86±0,09 ^a	16,49±0,59 ^d	19,48±0,64 ^d
1:4	85,04±0,20 ^a	-0,26±0,08 ^b	13,00±0,17 ^b	16,37±0,25 ^a
1:2	86,32±0,19 ^a	-0,65±0,04 ^c	14,66±0,19 ^b	16,99±0,25 ^a
1:1	80,14±1,35 ^b	0,01±0,23 ^b	18,11±0,71 ^a	23,44±1,26 ^c
0:1R	85,47±0,27 ^a	-0,02±0,01 ^b	16,68±0,15 ^c	19,13±0,26 ^d

*Letras iguais na mesma coluna indicam que não há diferença significativa entre os resultados ($p < 0,05$).

Fonte: Desenvolvido pelo Autor.

Os dados do parâmetro L^* (Tabela 12) referem-se ao parâmetro de luminosidade das amostras. Os filmes apresentaram valores de luminosidade variando de 80,14 a 85,47, indicando uma boa luminosidade considerando que o parâmetro em questão varia de 0-100, onde 0=preto e 100=branco. O filme 1:1 apresentou-se estatisticamente diferente dos demais filmes a nível de confiança ($p < 0,05$), com o menor valor no parâmetro L^* , porém teve um aumento no parâmetro a^* (verde-vermelho) e no b^* (azul-amarelo), apesar de não perder sua transparência se comparado

com os demais filmes. Embora na literatura seja relatada em sua grande maioria, que o parâmetro L^* aumenta com a incorporação de glicerol, já que o plastificante tende a aumentar a transparência do filme. No estudo de Ahamdi et al. (2012), Jouki et al. (2013) e Razavi et al. (2015) a diferença desse parâmetro não foi significativa a nível $p < 0,05$, bem como no trabalho de Dick et al. (2015), no qual ocorreu a diminuição do parâmetro L^* com a incorporação de glicerol, sendo este comportamento semelhante ao encontrado no presente estudo.

Os dados referentes ao parâmetro a^* (eixo verde-vermelho) da escala CIElab mostram uma pequena tendência à cor verde dos filmes. Embora os valores sejam baixos em todas as amostras, elas apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) divididas em três grupos.

Ainda na Tabela 12, os resultados obtidos para o parâmetro b^* (eixo azul – amarelo) revelam a tendência dos filmes a cor amarela. A amostra 1:1(m/m) apresentou maior valor ($18,11 \pm 0,71$) com relação às demais amostras, o que pode ser atribuído à alta concentração de glicerol.

Considerando a variação total de cor (ΔE), foram formados três grupos, nos quais as amostras 0:1 e 0:1 reticulado, não diferiram estaticamente entre si, bem como as amostras 1:4 e 1:2 (m/m). A amostra 1:1(m/m) apresentou maior valor ($23,44 \pm 1,26$) diferindo das demais, essa pequena variação pode ser observada visualmente.

Através da escala CIELab, ainda é possível determinar os índices de amarelamento (Y_i) e de brancura (W_i). Os valores positivos de amarelamento (Y_i) indicam a presença e magnitude da cor amarela, enquanto que valores negativos de amarelamento indicam que o material tem a tendência à cor azulada. A Tabela 13 apresenta os valores de índice de amarelamento e de brancura dos filmes de mucilagem de *Cereus*.

Tabela 103 - Índices de amarelamento (Y_i) e de brancura (W_i) dos filmes

Filme glicerol:mucilagem (m/m)	Y_i	W_i
0:1	$27,78 \pm 0,99^a$	$77,46 \pm 0,71^a$
1:4	$21,84 \pm 0,34^b$	$80,18 \pm 0,26^b$
1:2	$24,26 \pm 0,36^b$	$79,94 \pm 0,25^b$
1:1	$32,29 \pm 1,65^c$	$73,12 \pm 1,33^c$
0:1 Reticulado	$27,89 \pm 0,33^a$	$77,87 \pm 0,28^a$

*Letras iguais na mesma coluna indicam que não há diferença significativa entre os resultados ($p < 0,05$).

Fonte: Desenvolvido pelo Autor.

O filme de mucilagem com maior incorporação de glicerol (1:1) diferiu estatisticamente dos outros dois grupos formados, 0:1 e 0:1 reticulado do grupo 1:4 e 1:2, tanto para o índice de amarelamento (Y_i) quanto para o índice de brancura (Y_i), mostrando que o glicerol em maiores níveis afeta diretamente a cor dos filmes.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho mostrou que é possível elaborar filmes da mucilagem precipitada em etanol de *Cereus hildmaniannus* K. Schum, e que este possui boas características mecânicas quando adicionados de plastificante, uma vez que o filme reticulado com ácido cítrico se mostrou extremamente quebradiço dificultando algumas análises. O glicerol mostrou influir nas propriedades mecânicas diminuindo a tensão de ruptura (σ) e o módulo de Young (Y), aumentando, por outro lado a elongação (ϵ); também influenciou a permeabilidade ao vapor de água, que aumentou com sua adição ao filme. A partir dos espectro FTIR dos filmes foi possível observar que não houve o aparecimento nem o desaparecimento de novas bandas. As curvas de TG-DTA dos filmes mostraram uma redução na estabilidade térmica, conforme o aumento da concentração de plastificante, e que a reticulação com ácido cítrico, não contribuiu na melhora da estabilidade térmica quando comparados aos filmes adicionados de glicerol. O filme reticulado com ácido cítrico se mostrou muito quebradiço dificultando seu manuseio. A presença do plastificante resultou em filmes com tonalidade levemente amarelada embora não tenha alterado as micrografias de superfície dos filmes. A capacidade de absorção de água dos filmes diminuiu com a concentração de glicerol e o filme reticulado absorveu menor quantidade de água que o filme puro (0:1m/m). O aumento da quantidade de glicerol acarretou um valor de ângulo de contato gradualmente menor. A análise colorimétrica mostrou que os parâmetros de cor L^* , a^* , b^* e (ΔE) sofreram alteração com a incorporação de glicerol, sendo possível observar que os filmes sem o plastificante não diferiram estatisticamente nesses parâmetros. Os índices de amarelamento (Y_i) e de brancura (W_i) também foram afetados pela adição do plastificante sendo o filme 1:1 (m/m) glicerol: mucilagem apresentou maior valor de (Y_i) e consequentemente menor de (W_i). A partir da análise de açúcares totais foi possível observar a liberação dos açúcares presentes no filme em água, o que corrobora o potencial de aplicação dos filmes desenvolvidos nesse estudo como curativo, apesar de haver uma necessidade de comprovação da eficiência de cicatrização através de análises *in vitro* e em *in vivo*.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para a continuidade deste trabalho, sugere-se:

- Desenvolver um filme reticulado com melhores propriedades mecânicas.
- Realizar ensaios *in vitro* e *in vivo* para avaliar a biocompatibilidade dos filmes;
- Realizar a análise de cromatografia líquida para determinação dos açúcares presentes no filme.

REFERÊNCIAS

ABDULSAMAD, A.; OYI, A. R.; ISAH, A. B.; ODIDI, I. **Derivatization of Cashew Gum via Cross-linking with Citric Acid: Characterisation and Preliminary Evaluation of Tableting Properties.** British Journal of Pharmaceutical Research, v. 6(1), p. 22-34, 2015.

ARCHER, H. G.; BARNETT, S.; IRVING, S.; MIDDLETON, K. R.; SEAL, D. V. **A controlled model of moist wound healing: comparison between semi-permeable film, antiseptics and sugar paste.** Journal of experimental pathology (Oxford, England), v.71(2), p.155, 1990.

AHMADI, R.; KALBASI-ASHTARI, A.; OROMIEHIE, A., YARMAND, M. S.; JAHANDIDEH, F. **Development and characterization of a novel biodegradable edible film obtained from psyllium seed (*Plantago ovate* Forsk).** Journal of Food Engineering, v. 109, p. 745-751, 2012.

ALI, A.; AKHTAR, N.; KHAN, B. A.; KHAN, M. S.; RASUL, A.; ZAMAN, S. U. Z.; ALI, L. **Acacia nilotica: a plant of multipurpose medicinal uses.** *J Med Plant Res*, v.6, p.1492-1496, 2012.

ALVES, N.; DEANA, N. F. **O açúcar refinado no tratamento da infecção por *Pseudomonas* sp em úlcera por pressão.** Rev. enferm. UERJ, v.17(2), p.194-197, 2009.

ARCHANA, G.; SABINA, K.; BABUSKIN, S.; RADHAKRISHNAN, K.; FAYIDH, M. A.; BABU, P. A. S.; SIVARAJAN M.; SUKUMAR, M. **Preparation and characterization of mucilage polysaccharide for biomedical applications.** Carbohydrate Polymers, v. 98(1), p. 89-94, 2013.

ARSUL, V. A.; LAHOTI, S. R. **Natural Polysaccharides as Pharmaceutical Excipients.** World Journal of Pharmaceutical Research, v. 3, p. 3776-3790, 2014.

ASTM-D882-01. **Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting.** ASTM International, 2001.

ASTM-E96-95. **Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials**. ASTM International, 1995.

BARTHLOTT, W.; HUNT, D. R. Cactaceae. In: Kubitzki, K. **The families and genera of vascular plants**. Berlin, Springer. v. 2, p. 161-197, 1993.

BERTAN, L. C. **Desenvolvimento e caracterização de filmes simples e compostos a base de gelatina, ácidos graxos e breu branco**. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, p. 148, 2003.

BHARDWAJ T. R.; KANWAR M.; LAL R.; GUPTA A. **Natural gums and modified natural gums as sustained release carriers**. Drug. Dev. Ind. Pharm. v. 26(10), p.1025-1038, 2000.

BRANCO, NATÁLIA BRUZAMARELLO CAON. **Caracterização química, física e reológica da mucilagem do cladódio de *Cereus hildmaniannus* K. Schum.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, p. 88, 2011.

BRUXEL, J.; JASPER, A. **A família Cactaceae na Bacia Hidrográfica do Rio Taquari, RS, Brasil**. Acta Botânica Brasílica, v. 19(1), p. 71-79, 2005.

CAI, W.; GU, X.; TANG, J. **Extraction, purification, and characterization of the polysaccharides from *Opuntia milpa alta***. Carbohydrate Polymers, v. 71, p. 403-410, 2008.

CALLISTER, JR., W.D. **Materials Science and Engineering**. 7^a ed. New York: John Wiley & Sons, Inc, p.408, 2007.

CANEVAROLO, S. V. **Ciência dos Polímeros**. 1^a ed. São Paulo: Artliber Editora Ltda, p.183p, 2002.

CAVAZANA, W. C., SIMÕES, M. L. P. B., YOSHII, S. O., AMA-DO, C. A. B., CUMAN, R. K. N. **Açúcar (sacarose) e triglicerídeos de cadeia média com ácidos graxos essenciais no tratamento de feridas**

cutâneas: estudo experimental em ratos. An. Bras Dermatol, v. 84(3), p. 229-36, 2009.

CERQUEIRA, M. A.; LIMA, A. M. P.; SOUZA, B. W. S.; TEIXEIRA, J. A.; MOREIRA, R. A.; VICENTE, A. A. **Functional polysaccharides as edible coatings for cheese.** Journal Agriculture and Food Chemistry, v.57(4), p.1456–1462, 2009.

CLARKE, A. E.; ANDERSON, R. L.; STONE, B. A. **Form and function of arabinogalactans and arabinogalactan-proteins.** Phytochemistry, v.18(4), p. 521-540, 1979.

COELHO, M. C. D. O. C.; CARRAZONI, P. G.; MONTEIRO, V. L. D. C.; MELO, F. D. A. D.; MOTA, R. A.; TENÓRIO FILHO, F. **Biopolímero produzido a partir da cana-de-açúcar para cicatrização cutânea.** Acta Cirúrgica Brasileira, v.17, p.11-13, 2002.

COLONETTI, Vivian Caroline. **Caracterização da mucilagem do fruto e cladódio de *Cereus hildmaniannus* k. Schum.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, p. 83, 2012.

CUQ, B.; GONTARD, N.; CUQ, J. L.; GUILBERT, S. **Functional properties of myofibrillar protein-based biopackaging as affected by film thickness.** Journal of food science, v. 61(3), p. 580-584, 1996.

CUQ, B.; GONTARD, N.; CUQ, J.L.; GUILBERT, S. **Selected functional properties of fish myofibrillar protein-based films as affected by hydrophilic plasticizers.** Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 45, p. 622-626, 1997.

DEORE, S.L.; KHADABADI, S. S. **Standardisation and pharmaceutical evaluation of *Chlorophytum borivilianum* mucilage.** Rasa-yan J. Chem., v.1, p.887-892, 2008.

DAVIS, R. H.; DONATO, J. J.; HARTMAN, G. M.; HAAS, R. C. **Anti-inflammatory and wound healing activity of a growth substance in *Aloe vera*.** Journal of the American Podiatric Medical Association, v. 84(2), p.77-81 (1994).

DICK, M.; COSTA, T. M. H.; GOMAA, A.; SUBIRADE, M.; DE OLIVEIRA RIOS, A.; FLÔRES, S. H. **Edible film production from chia seed mucilage: effect of glycerol concentration on its physico-chemical and mechanical properties.** Carbohydrate Polymers. v. 130, 2015.

DURLI, M. J. **Caracterização da distribuição das populações de *Cereus hildmaniannus* K. Schum no município de Zortéa/SC.** (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade do Oeste de Santa Catarina, 2008

ESPINO-DÍAZ, M.; DE JESÚS ORNELAS-PAZ, J.; MARTÍ-NEZ-TÉLLEZ, M. A.; SANTILLÁN, C.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; ZAMUDIO-FLORES, P. B.; OLIVAS, G. I. **Development and characterization of edible films based on mucilage of *Opuntia ficus-Indica* (L).** Journal of food science, v. 75(6), p. 347-352, 2010.

FELDMAN, D. **Polymer Barrier Films.** Journal of Polymers and the Environment, v. 9, p. 49-55, 2001.

FORREST, R. D. **Early history of wound treatment.** Journal of the Royal Society of Medicine, v. 75(3), p. 198-205, 1982.

GENNADIOS, A.; BRANDENBURG, A. H.; WELLER, C. L.; TESSIN, R. F. **Effect of pH on properties of wheat gluten and soy protein isolate films.** J. Agric. and Food Chem., v. 41, p. 1835-1839, 1993.

GILIOLI, ANDRESSA. **Caracterização e Viabilidade no Uso da Casca do Fruto de *Cereus hildmaniannus* como Adsorvente.** (Doutorado). Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

GONTARD, N., GUILBERT, S., CUQ, J. L. **Water and glycerol as plasticizers affect mechanical and water vapor barrier properties of an edible wheat film.** Journal of Food Science, v. 58(1), p. 206-211, 1993.

GUILBERT, S. **Technology and application of edible protective film.** In M. Mathlouthi (Ed.), Food packaging and preservation: Theory and practice, p. 371-394, New York, USA: Elsevier, 1986.

HAQ, M.A.; HASANAIN, A.; AZAM, M. **Characterization of edible gum cordia film: Effects of plasticizers.** Food Science and Technology, v.55, p.163-169, 2014.

HOLANDA, L. A.; REIS, P. H.; PICANCO, R.; SALVINO, N. C. **O açúcar granulado no tratamento das infecções tegumentares.** Ceará Médica, v.6, p.36-8, 1984.

JANI, G. K.; SHAH, D. P.; PRAJAPATI, V. D.; JAIN, V. C. **Gums and mucilages: versatile excipients for pharmaceutical formulations.** Asian Journal of Pharmaceutical Sciences, v. 4(5), p. 309 - 323, 2009.

JOUKI, M.; YAZDI, F. T.; MORTAZAVI, S. A.; KOOCHEKI, A. **Physical, barrier and antioxidant properties of a novel plasticized edible film from quince seed mucilage.** International journal of biological macromolecules. v. 62, p. 500-507, 2013.

JOUKI, M.; YAZDI, F. T.; MORTAZAVI, S. A.; KOOCHEKI, A. **Quince seed mucilage films incorporated with oregano essential oil: Physical, thermal, barrier, antioxidant and antibacterial properties.** Food Hydrocolloids. v. 36, p. 9-19, 2014.

KHAN, M. A.; BHATTACHARIA, S. K.; KADER, M. A.; BAHARI, K. **Preparation and characterization of ultra violet (UV) radiation cured bio-degradable films of sago starch/PVA blend.** Carbohydrate polymers, v. 63(4), p. 500-506, 2006.

KHAN, A. W.; KOTTA, S.; ANSARI, S. H.; SHARMA, R. K.; KUMAR, A.; ALI, J. **Formulation development, optimization and evaluation of aloe vera gel for wound healing.** Pharmacognosy magazine, v. 9, p. 6-10, 2013.

KHAZAEI, N.; ESMAILI, M.; DJOMEH, Z. E.; GHASEMLOU, M.; JOUKI, M.; **Characterization of new biodegradable edible film made from basil seed (Ocimum basilicum L.) gum.** Carbohydrate Polymers, v. 102, p. 199-206, 2014.

KROCHTA, J. M. **Proteins as raw materials for films and coatings: definitions, current status, and opportunities.** Protein-based films and coatings, p.1-41, 2002.

KROCHTA, J.M. **Proteins as raw materials for films and coatings: definitions, current status, and opportunities.** In Protein-based films and coatings; New Jersey. Editora: Aristippos Gennadios; Boca Raton, p. 367, 2002.

MA, J.; WANG, H.; HE, B.; CHEN, J. **A preliminary in vitro study on the fabrication and tissue engineering applications of a novel chitosan bilayer material as a scaffold of human neonatal dermal fibroblasts.** Biomaterials, v. 22(4), p.331-336, 2001.

MOLAZEM, Z.; MOHSENI, F.; YOUNESI, M.; KESHAVARZI, S. **Aloe Vera Gel and Cesarean Wound Healing; A Randomized Controlled Clinical Trial.** Global journal of health science, v.7(1), p203-209, 2014.

M. SUBRAHMANYAM . **Honey Impregnated Gauze Versus Polyurethane Film (OpSiteR) in the Treatment of Burns** Department of Surgery. Solapur 413 003. Maharashtra, India, 1993

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. **Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização.** Semina: Ciências Agrárias, v. 31, p. 137-156, 2010.

MARLI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; GARCÍA, M. A.; MARTINO, M. N.; ZARITZKY, N. E. **Effect of controlled storage on thermal, mechanical and barrier properties of plasticized films from different starch sources.** Journal of Food Engineering, v.75, p. 453–460, 2006.

MCHUGH, T. A.; KROCHTA, J. M. **Sorbitol vs glycerol plasticized whey protein edible films: integrated oxygen permeability and tensile property evaluation.** Journal of Agriculture and Food Chemistry, Washington, v. 42, p.841-846, 1994.

MONDOA, E. I.; M. KITEI. **Sugars That Heal: The New Healing Science of Glyconutrients.** Ballantine Publishing Group, p. 262, 2002.

MOTHÉ, C. G., AZEVEDO, A. D. **Análise Térmica de Materiais.** 1ª ed. São Paulo:I-editora, p. 300, 2002.

MUÑOZ, L. A.; AGUILERA, J. M.; RODRIGUEZ-TURIENZO, L.; COBOS, A.; DIAZ, O. **Characterization and microstructure of films made from mucilage of *Salvia hispanica* and whey protein concentrate**. Journal of Food Engineering, v. 111, p. 511-518, 2012.

PAVIA, D. L.; KRIZ, G. S.; LAMPMAN, G. M. **Introduction to Spectroscopy**. Fourth Edition. Brooks Cole, 2008.

PARK, E. H.; CHUN, M. J. **Wound healing activity of *Opuntia ficus-indica***. Fitoterapia, v.72(2), p.165-167, 2001.

PEREIRA, JADER LIMA. **Estrutura demográfica e fenologia reprodutiva de *Cereus hildmaniannus* k. Schum. (cactaceae), em uma restinga arbustiva do município de Jaguaruna, Santa Catarina**. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, p. 61, 2009.

PEREIRA, V. A.; DE ARRUDA, I. N. Q.; STEFANI, R. **Active chitosan/PVA films with anthocyanins from Brassica oleraceae (Red Cabbage) as Time-Temperature Indicators for application in intelligent food packaging**. Food Hydrocolloids, v. 43, p. 180-188, 2015.

PILETTI, RAQUEL. **Extração da mucilagem da tuna (*Cereus hildmaniannus* K. Shum) para aproveitamento industrial**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, p. 98, 2011.

PORTO, M. R. A. **Caracterização Físico-Química e Comportamento Reológico da Polpa do Fruto de *Cereus hildmaniannus***. (Mestrado). Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

PRAJAPATI, V. D., JANI, G. K., MORADIYA, N. G., RANDERIA, N. P. **Pharmaceutical applications of various natural gums, mucilages and their modified forms**. Carbohydrate Polymers, v. 92(2), p. 1685-1699, 2013.

QUADRI, MARA GABRIELA NOVY; PORTO, M. R. A.; DEBONI, T. M.; Bundchen, M.; MÁRIO, A. J. **Suco de cactáceas e processos para sua obtenção**. 2010, Brasil. Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: PI1003667, data de depósito: 11/08/2010, Instituição

de registro: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Instituição(ões) financiadora(s): CNPq, UFSC.

RAZAVI, S. M. A.; AMINI, A. M.; ZAHEDI, Y. **Characterisation of a new biodegradable edible film based on sage seed gum: Influence of plasticizer type and concentration.** *Food Hydrocolloids*, v. 43, p. 290-298, 2015.

REDDY, N.; YANG, Y. **Citric acid cross-linking of starch films.** *Food Chemistry*, v. 118 (3), p. 702-711, 2010.

RODRIGUES, A. P.; SARAIVA SANCHEZ, E. M.; DA COSTA, A. C.; MORAES, Â. M. **The influence of preparation conditions on the characteristics of chitosan-alginate dressings for skin lesions.** *J. Appl. Polym. Sci.*, v. 109, p. 2703-2710, 2008.

RODRÍGUEZ, M., OSÉS, J., ZIANI, K., MATÉ, J. I. **Combined effect of plasticizers and surfactants on the physical properties of starch based edible film.** *Food Research International*, v. 39, p. 840-846, 2006.

SARANTÓPOULOS, C. G. L.; OLIVEIRA, L. M.; PADULA, M.; COLTRO, L.; ALVES, R. M. V.; GARCIA, E. E. C. - "**Embalagens Plásticas Flexíveis: principais polímeros e avaliação de propriedades**". CETEA/ ITAL, Campinas, 2002.

SCHEINVAR, L. **Cactáceas. Flora Ilustrada Catarinense**, 1985.

SEPÚLVEDA, E.; SÁENZ, C.; ALIAGA, E.; ACEITUNO, C. **Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp.** *Journal of arid environments*, v. 68(4), p. 534-545, 2007.

SHANNON, J.C.,. **Carbon-14 distribution in carbohydrates of immature *Zea mays*.** *Kernels following ¹⁴CO₂ treatment of intact plants.* *Plant Physiology*, v. 43(8), p. 1215-1220, 1968

SHI, W. J.; TANG, C. H.; YIN, S. W.; YIN, Y.; YANG, X. Q.; WU, L. Y.; ZHAO, Z. G. **Development and characterization of novel chitosan emulsion films via pickering emulsions incorporation approach.** *Food Hydrocolloids*, v. 52, p. 253-264, 2016.

SILVA, GISLAINE ANGÉLICA RODRIGUES. **Evolução de *Cereus hildmaniannus* (Cactaceae)**. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto – USP, Ribeirão Preto, p. 129, 2013.

SILVA, S.R.; ZAPPI, D.C.; TAYLOR, N.; MACHADO, M. (ORGS.) **Plano de ação nacional para a conservação das cactáceas. Série Espécies Ameaçadas**. Instituto Chico Mendes, Brasília, v. 24, p. 112, 2011.

SILVERSTEIN, R. M.; WEBSTER, F. X.; KIEMLE, D. J. **Identificação espectrofotométrica de compostos orgânicos**. Rio de Janeiro, 7ª edição, LTC, 2006.

SOTHORNVIT, R.; KROCHTA, J. M. **Plasticizer effect on oxygen permeability of beta-lactoglobulin films**. J. Agric. Food Chem. v. 48, p. 6298, 2000.

SOUZA, C. V.; MONTE M. L.; E PINTO. A. A. L. **Effect of carp (*Cyprinus carpio*) oil incorporation on water vapour permeability, mechanical properties and transparency of chitosan**. International Journal of Food Science and Technology, v. 48, p. 1309–1317, 2013.

SUYATMA, N. E.; TIGHZERT, L.; COPINET, A.; COMA, V. **Effects of hydrophilic plasticizers on mechanical, thermal, and surface properties of chitosan films**. Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 53(10), p. 3950-3957, 2005.

TAYLOR N.; ZAPPI D. **Cacti of eastern Brazil**. Publisher: Royal Botanic Gardens Kew, p. 511, 2004.

THARANATHAN, R. N. **Biodegradable films and composite coatings: past, present and future**. Trends in Food Science & Technology, v. 14(3), p. 71-78, 2003.

THOMAS, L. V.; ARUN, U.; REMYA, S.; NAIR, P. D. **A biodegradable and biocompatible PVA–citric acid polyester with potential applications as matrix for vascular tissue engineering**. Journal of Materials Science: Materials in Medicine, v. 20(1), p. 259-269, 2009.

UMBREIT, W.W., BURRIS, R.H., STAUFFER, J.F. **Method for glucose determination and other sugars.** Manometric Techniques. 1^a Edition. Burgess Publishing Co., 1964.

WANG, L.; KHOR, E.; WEE, A.; LIM, L.Y. **Chitosan-alginate PEC membrane as wound dressing: Assessment of incisional wound healing.** Journal of Biomedical Materials Research, v. 63, p. 610-618, 2002.

ZANCO, J.J.; IMIG, D.C.; FOGAÇA, J. **Caracterização alométrica, fitoquímica e ecológica de *Cereus Jamacaru* A. DC. Em restinga no município de Jaguaruna - (SC, Brasil).** Anais do IX Congresso de Ecologia do Brasil, São Lourenço – MG, 2009.

ZEGBE, J. A.; MENA-COVARRUBIAS, J.; DOMÍNGUEZ-CANALES, V. S. I. **Cactus Mucilage as a Coating Film to Enhance Shelf Life of Unprocessed Guavas (*Psidium guajava* L.).** In VIII International Congress on Cactus Pear and Cochineal v. 1067, p. 423-427, 2013.

ZHANG, Y., HAN, J. H. **Plasticization of pea starch films with monosaccharides and polyols.** Journal of Food Science, v. 71(6), p. E253-E261, 2006.

ZHOU, C. H. C., BELTRAMINI, J. N., FAN, Y. X., LU, G. M. **Chemoselective catalytic conversion of glycerol as a biorenewable source to valuable commodity chemicals.** Chemical Society Reviews, v. 37(3), p. 527-549, 2008.

ZOHURIAAN, M. J.; SHOKROLAHI, F. **Thermal studies on natural and modified gums.** Polymer Testing, v. 23(5), p. 575-579, 2004.