

Vivian Caroline Colonetti

**CARACTERIZAÇÃO DA MUCILAGEM DO FRUTO E  
CLADÓDIO DE *Cereus hildmaniannus* K. Schum**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Química  
Orientador: Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Mara Gabriela Novy Quadri  
Co-orientador: Prof. Dr. Marcelo Maraschin

Florianópolis  
2012

Colonetti, Vivian Caroline

Caracterização da mucilagem do fruto e cladódio de *Cereus hildmaniannus* K. Schum [dissertação] / Vivian Caroline Colonetti ; orientadora, Mara Gabriela Novy Quadri ; co-orientador, Marcelo Maraschin. - Florianópolis, SC, 2012. 83 p. ; 21cm

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

Inclui referências

1. Engenharia Química. 2. Mucilagem. 3. Cacto. 4. Caracterização. 5. Biopolímero. I. Quadri, Mara Gabriela Novy. II. Maraschin, Marcelo. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. IV. Título.

Vivian Caroline Colonetti

**CARACTERIZAÇÃO DA MUCILAGEM DO FRUTO E  
CLADÓDIO DE *Cereus hildmaniannus* K. Schum:**

Esta dissertação foi julgada adequada 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, 14 de setembro de 2012.

---

Prof. Leonel Teixeira Pinto, Dr.  
Coordenador do CPGENQ

---

Prof.<sup>a</sup> Mara G. N. Quadri, Dr.<sup>a</sup>  
Orientadora

---

Prof. Marcelo Maraschin, Dr.  
Co-orientador

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Humberto G. Riella, Dr.  
Membro

---

Prof. Marco Di Luccio, Dr.  
Membro

---

Prof. Marinho Bastos Quadri, Dr.  
Membro



Dedico este trabalho à minha família,  
em especial aos meus pais



## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me concedido força e coragem durante essa longa jornada de trabalho.

A minha orientadora, Mara Gabriela Novy Quadri, pela paciência na orientação e incentivo, que tornaram possível a realização desta dissertação.

Ao meu co-orientador, Marcelo Maraschin, por todo seu conhecimento transmitido para a realização deste trabalho e por disponibilizar o uso do cromatógrafo a gás para as análises.

Aos meus pais, Maria Bonetti Colonetti e Quintino Colonetti, por todo amor e carinho incondicional e pela educação que me deram durante toda a vida. Amo vocês!

Aos meus irmãos, Edilene e Evandro, pelo apoio, incentivo e amizade.

A minha sobrinha, Lara, que mesmo tão pequenina fez meus dias mais felizes.

Ao meu namorado, Roque, pelas incansáveis conversas de apoio, pelos abraços de conforto nos momentos mais difíceis, e também pelos chocolates! Obrigada por acreditar em mim e estar sempre ao meu lado.

Aos amigos do Laboratório de Sistemas Porosos, Andressa, Estácio, Carina, Eduardo, Raquel, John, Marcel, Natália, Fernanda, Vanderlei, Rafael, Débora, Jônata e todos os outros que de alguma forma me ajudaram e contribuíram para a pesquisa no laboratório, e também pela compreensão e palavras de conforto nas horas mais difíceis. Em especial, ao amigo Rômulo Couto Alves, que disponibilizou muito do seu tempo para me ajudar com as análises de cromatografia e reologia.

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

Ao Professor Valdir Soldi, do Departamento de Química, pelas aulas ministradas de Caracterização de Polímeros, que muito contribuíram para o entendimento deste trabalho.

A Simone Kobe, do Departamento de Ciências Agrárias, por todo empenho e dedicação nas análises cromatográficas.

A Professora Vera Lúcia Frescura, do Departamento de Química, por ter disponibilizado o viscosímetro para a realização dos experimentos de viscosidade.

A técnica de laboratório, Marly da Silveira Soldi, pelos ensinamentos nas análises de termogravimetria.

A Epagri de Campos Novos e ao Sr. Sérgio Roberto Zoldan, pela ajuda e interesse neste trabalho.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) por conceder a bolsa de Mestrado.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho nos dois anos de pesquisa.

*“Obstáculo é aquilo que você enxerga quando tira seus olhos do objetivo”.*

(Henry Ford)



A família das cactáceas possui aproximadamente 100 gêneros e 2000 espécies e é representada por plantas que possuem uma polpa mucilaginosa em seus frutos e cladódios. Uma espécie ainda pouco estudada é o cacto *Cereus hildmaniannus* K. Schum, que cresce naturalmente em solos pedregosos e com escassez de água, condição encontrada no município de Zortéa, região meio-oeste de Santa Catarina. A tuna, como também é conhecido, é promissora dentro do contexto “Plantas do Futuro” e pode se tornar mais uma opção de renda para o pequeno produtor da região. A presença da mucilagem em seus frutos faz com que eles sejam muito apreciados pela população rural. Esta mucilagem possui elevada capacidade de absorver água, podendo assim ser considerada como um potencial hidrocoloide na área alimentícia e em outras áreas. Deste modo, o presente trabalho tem como finalidade estudar a caracterização da mucilagem dos frutos e cladódios de *Cereus hildmaniannus* K. Schum e avaliar seu potencial tecnológico. A mucilagem foi extraída do fruto e cladódio e separada em duas frações: solúvel e insolúvel, as quais foram liofilizadas para obtenção do produto em pó. A partir destas frações, foram realizadas análises de cromatografia gasosa, infravermelho e termogravimetria. Apenas a fração solúvel teve seu comportamento em solução avaliado em termos de ensaios reológicos, ponto de carga zero e tensão superficial. Os resultados indicaram que os monossacarídeos presentes na polpa mucilaginosa para as quatro frações são os mesmos encontrados em outras cactáceas. As frações solúvel e insolúvel do fruto apresentaram boa estabilidade térmica até a temperatura aproximada de 140-150°C. As frações solúvel e insolúvel do cladódio apresentaram uma estabilidade maior, pois a decomposição do material teve início em 200-220°C. Em solução aquosa, a fração solúvel do fruto e do cladódio apresentou comportamento newtoniano e alta viscosidade intrínseca. O valor obtido da constante de Huggins foi 0,43 e 0,46, respectivamente. Estes valores indicam que a água foi um bom solvente para a fração solúvel nas concentrações estudadas. O pH do ponto de carga zero ficou próximo de 6,40 para a fração solúvel do fruto e 6,80 para a fração solúvel do cladódio. Os resultados da tensão superficial mostraram que com o aumento da concentração da fração solúvel ocorreu um decréscimo na tensão superficial. Estes valores obtidos estão próximos daqueles encontrados na literatura para outras gomas.

**Palavras-chave:** Caracterização, mucilagem, biopolímero, tuna, cacto, análise térmica, reologia.

The *Cactaceae* family has approximately 100 genus and 2000 species and it is represented by plants with mucilaginous pulp in their fruits and cladodes. The cactus *Cereus hildmaniannus* K. Schum is a very little studied species; it grows naturally in stony soil with lack of water, condition found in Zortéa, midwest region of Santa Catarina. The tuna, as it is also known, is a promising plant in the context of the "Plants for the Future" project, and has the potential to be one income option for small farmers in the region. It is very appreciated by the population due to its pleasant flavor. Mucilage, a complex sugar, has high capacity to absorb water and can be considered as a potential hydrocolloid for industrial use, such as in food industry and in other areas. This work aims to study the mucilage characterization from fruits and cladodes of *Cereus hildmaniannus* K. Schum and evaluate their technological potential. The mucilage was extracted from the fruit and cladodes and was separated into two fractions: soluble and insoluble. Gas chromatography, Fourier Transform Infrared Spectroscopy and Thermogravimetry were employed to characterize the two fractions. The soluble fraction was also characterized by rheological tests, point of zero charge and surface tension. Results indicated that monosaccharides profile found in the mucilage from the four fractions are similar to that found in other cacti. The soluble and insoluble fractions of the fruit have shown good thermal stability up to 140-150°C. Fractions from cladodes showed highest stability, degrading only at temperatures higher 200-220°C without structural changes. In aqueous solution, the soluble fraction from fruits and cladodes behaved as newtonian fluid with highest intrinsic viscosity. The Huggins constant was 0,43 and 0,46 respectively. These values indicated that the water was a good solvent for the concentrations studied. The pH at the point of zero charge of the fruit soluble fraction was 6,40 and, for the cladode's soluble fraction, was 6,80. The results also showed that increasing concentration of the soluble fraction a decrease in the surface tension was observed. These values are similar to those found in the literature for other gums.

**Keywords:** Characterization, mucilage, biopolymer, tuna cactus, thermal analysis, rheology.



## LISTA DE FIGURAS

---

Figura 1 – <i>Opuntia ficus indica</i> : caule e frutos.....	26
Figura 2 – Pitayas amarela e vermelha.....	27
Figura 3 – Frutos de <i>Cereus peruvianus</i> e <i>Cereus jamacaru</i> .....	28
Figura 4 – <i>Cereus hildmaniannus</i> K. Schum a) Frutos e cladódios. b) Polpa do fruto. c) Flor.....	29
Figura 5 – Interdisciplinaridade da reologia com outras ciências.....	39
Figura 6 – Fruto de <i>Cereus hildmaniannus</i> lavado e cortado longitudinalmente. ....	43
Figura 7 – Fluxograma da separação das frações da mucilagem do fruto. ....	44
Figura 8 – Cladódio de <i>Cereus hildmaniannus</i> com espinhos e cortado radialmente. ....	45
Figura 9 – Fluxograma da separação das frações da mucilagem do cladódio. ....	46
Figura 10 – Cromatograma da fração solúvel do fruto.....	51
Figura 11 – Cromatograma da fração insolúvel do fruto.....	52
Figura 12 – Cromatograma da fração solúvel do cladódio. ....	52
Figura 13 – Cromatograma da fração insolúvel do cladódio. ....	53
Figura 14 – Espectro de FT-IR da fração solúvel do fruto. ....	55
Figura 15 – Espectro de FT-IR da fração insolúvel do fruto. ....	56
Figura 16 – Espectro de FT-IR da fração solúvel do cladódio. ....	57
Figura 17 – Espectro de FT-IR da fração insolúvel do cladódio. ....	57
Figura 18 – Curvas da TGA da fração solúvel do fruto. ....	60
Figura 19 – Curvas da TGA da fração insolúvel do fruto. ....	60
Figura 20 – Curvas da TGA da fração solúvel do cladódio.....	61
Figura 21 – Curvas da TGA da fração insolúvel do cladódio.....	61
Figura 22 – Gráfico de Huggins da fração solúvel do fruto. ....	64
Figura 23 – Gráfico de Huggins da fração solúvel do cladódio.....	64
Figura 24 – Gráfico de Kraemer da fração solúvel do fruto. ....	65
Figura 25 – Gráfico de Kraemer da fração solúvel do cladódio. ....	65
Figura 26 – Ponto de carga zero da fração solúvel do fruto. ....	68
Figura 27 – Ponto de carga zero da fração solúvel do cladódio.....	68



## LISTA DE TABELAS

---

Tabela 1 – Propriedades químicas da fração solúvel da polpa do fruto.	30
Tabela 2 – Composição monossacarídica das frações solúvel e insolúvel do fruto e cladódio. ....	53
Tabela 3 – Grupos funcionais da fração solúvel e insolúvel do fruto. ..	56
Tabela 4 – Grupos funcionais da fração solúvel e insolúvel do cladódio. ....	58
Tabela 5 – Perda de massa das amostras em função da temperatura. ...	62
Tabela 6 – Parâmetros das equações de Huggins e Kraemer para as soluções da fração solúvel do fruto e cladódio. ....	66
Tabela 7 – Tensão superficial para a fração solúvel do fruto e cladódio. ....	69



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

---

BSTFA	N,O-bis(trimetilsilil)trifluoracetamida
CG-DIC	Cromatografia gasosa acoplada com detector de ionização em chama
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
KBr	Brometo de potássio
m	Metro
mm	Milímetro
m/m	Massa por massa
M	Molar
min	Minuto
N <sub>2</sub>	Nitrogênio
pH	Potencial hidrogeniônico
ppm	Partes por milhão
rpm	Rotações por minuto
TFA	Ácido trifluoracético



## SUMÁRIO

---

<b>1</b>	<b>CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO</b> .....	<b>23</b>
1.1	IMPORTÂNCIA DO ESTUDO .....	23
1.2	OBJETIVOS .....	24
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	24
<b>2</b>	<b>CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>25</b>
2.1	CACTÁCEAS .....	25
2.1.1	O gênero <i>Cereus</i> .....	27
2.1.2	<i>Cereus hildmaniannus</i> K. Schum .....	28
2.1.3	Usos e Propriedades Funcionais .....	30
2.2	HIDROCOLOIDES .....	33
2.3	MUCILAGEM .....	36
2.4	REOLOGIA .....	38
2.4.1	Reologia de soluções diluídas .....	40
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO 3: MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>43</b>
3.1	EXTRAÇÃO DA POLPA E SEPARAÇÃO DAS FRAÇÕES SOLÚVEL E INSOLÚVEL DA MUCILAGEM .....	43
3.1.1	Frutos .....	43
3.1.2	Cladódios .....	45
3.2	CARACTERIZAÇÃO DAS FRAÇÕES SOLÚVEL E INSOLÚVEL .....	46
3.2.1	Cromatografia Gasosa .....	46
3.2.2	Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier ...	47
3.2.3	Análise Termogravimétrica .....	47
3.3	COMPORTAMENTO DA FRAÇÃO SOLÚVEL EM SOLUÇÃO ...	48
3.3.1	Medidas Reológicas .....	48
3.3.2	Ponto de Carga Zero .....	48
3.3.3	Tensão Superficial .....	48
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO 4: RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>51</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO DAS FRAÇÕES SOLÚVEL E INSOLÚVEL .....	51
4.1.1	Cromatografia Gasosa .....	51
4.1.2	Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier ...	55
4.1.3	Análise Termogravimétrica .....	59
4.2	COMPORTAMENTO DA FRAÇÃO SOLÚVEL EM SOLUÇÃO ...	63
4.2.1	Medidas Reológicas .....	63
4.2.2	Ponto de Carga Zero .....	67
4.2.3	Tensão Superficial .....	69
<b>5</b>	<b>CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES</b> .....	<b>71</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>73</b>

---



## CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

---

### 1.1 IMPORTÂNCIA DO ESTUDO

Atualmente, tem-se dado uma maior importância para alimentos ricos em componentes com propriedades funcionais. Desse ponto de vista, a tendência do consumidor tem sido a busca de alimentos com maior quantidade de antioxidantes e corantes naturais, fibras alimentares, baixos teores de gordura e calorias e, de preferência, livres de aditivos sintéticos (EL-SAMAHY *et al.*, 2009).

Os polissacarídeos provenientes das plantas são uma fonte interessante de aditivos para diversas indústrias, principalmente para a indústria alimentícia e farmacêutica. Muitos destes polissacarídeos, como aqueles da família das cactáceas, têm sido utilizados para modificar as propriedades reológicas de alguns produtos. Na medicina tradicional, eles são amplamente utilizados para o tratamento de pele e feridas do epitélio e também para irritação da mucosa (CAI *et al.*, 2008).

As cactáceas possuem como característica principal a produção de mucilagem. Esta mucilagem é composta por polissacarídeos complexos que incham com a presença da água tomando consistência gomosa, com propriedades adesivas e espessantes. Na indústria alimentícia é utilizada no preparo de doces e geleias, e na indústria farmacêutica, para dar estabilidade a emulsões e pomadas (HOU *et al.*, 2002).

Estudos realizados pela FAO demonstram a importância das cactáceas como recurso natural com potencial para servir de fonte de renda, gerar emprego e fornecer nutrientes especiais (VILLASEÑOR *et al.*, 2008).

Neste contexto, o cacto *Cereus hildmaniannus* K. Schum cresce naturalmente em solos pedregosos e com escassez de água na região do meio oeste de Santa Catarina. Possui frutos carnosos e comestíveis de sabor doce, os quais são consumidos pela população rural, e seus cladódios aparecem como caules com função fotossintetizante (BUDEL *et al.*, 2003). A tuna, como também é conhecido, é um vegetal promissor dentro do contexto “Plantas do Futuro” e pode se tornar mais uma opção de renda para o pequeno produtor (DURLI, 2008).

Esta espécie ainda é pouco conhecida, visto que não são encontrados dados na literatura sobre seus usos e potenciais. Deste modo, o presente trabalho tem como finalidade estudar a caracterização da fração solúvel e insolúvel da mucilagem dos frutos e cladódios do *Cereus hil-*

*hildmaniannus* K. Schum bem como avaliar seu comportamento térmico e reológico.

Através da análise termogravimétrica é possível conhecer a estabilidade térmica dos polímeros. Na indústria alimentícia, as soluções de polissacarídeos alteram suas propriedades físicas em solução, resultando em soluções de alta viscosidade. Neste sentido, o conhecimento do comportamento reológico e da viscosidade das soluções torna-se importante para avaliar os efeitos de processamento sobre os produtos desde a fabricação até o produto final (LEWIS, 1993).

## 1.2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como principal objetivo caracterizar as frações solúvel e insolúvel da mucilagem do fruto e cladódio de *Cereus hildmaniannus* K. Schum.

Embasados neste objetivo principal, os objetivos específicos estão listados a seguir:

- Caracterização química e térmica das frações solúvel e insolúvel da mucilagem proveniente do fruto e do cladódio;
- Análise do comportamento em solução da fração solúvel.

## 1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está dividida em seis capítulos. Neste primeiro capítulo encontra-se a importância da realização deste trabalho e seus principais objetivos.

O segundo capítulo apresenta uma breve revisão bibliográfica a respeito das cactáceas, do cacto *Cereus hildmaniannus* K. Schum e sua importância tecnológica. Este capítulo também descreve a utilização dos hidrocolóides e da mucilagem, mostrando a importância do conhecimento de seu comportamento reológico para a indústria de alimentos.

O terceiro capítulo descreve detalhadamente os materiais e métodos utilizados para a caracterização da mucilagem do fruto e do cladódio do *Cereus hildmaniannus*.

No quarto capítulo estão apresentados os resultados e discussões.

No capítulo cinco têm-se as conclusões deste trabalho.

O capítulo seis apresenta as referências bibliográficas utilizadas durante a realização da dissertação.

## CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

---

Este capítulo apresenta a revisão bibliográfica referente aos temas fundamentais para o entendimento do trabalho e as suas relações com o mesmo.

### 2.1 CACTÁCEAS

A família *Cactaceae* possui aproximadamente 100 gêneros e 2000 espécies (KIESLING, 2001) e é representada por cactos, os quais são plantas adaptadas a climas áridos (HUGHES *et al.*, 1980). Podem ser facilmente encontrados no México, Argentina, Peru, Bolívia, Brasil, Estados Unidos, Espanha, Itália, África e Israel (SÁENZ *et al.*, 2004).

As cactáceas são dicotiledôneas suculentas que apresentam hábito arbóreo, arbustivo, epifítico ou geófito. Possuem caule colunar, cilíndrico, globoso, tuberculado, com costelas, asas ou achatado, geralmente segmentado sem folhas e com espinhos. Estes caules são conhecidos como cladódios 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).

Esta família está dividida em três subfamílias:

- *Opuntioideae* – com espécies arbóreas ou arbustivas e folhas, é dividida em cinco gêneros;
- *Pereskioideae* – apresenta árvores sem folhas ou com vestígios de folhas, possuindo 91 gêneros;
- *Cactoideae* – esta subfamília possui hastes suculentas sem folhas, com aréolas bem desenvolvidas (BARTHLOTT e HUNT, 1993).

Os membros da *Opuntioideae* e *Cactoideae* podem ser encontrados em quase todos os habitats terrestres: desertos quentes ou frios, pastagens, florestas tropicais e sombrias, ambientes molhados ou cobertos de neve (MAUSETH, 2006).

Estima-se que de 12 a 15 gêneros, e 50 a 80 espécies, possuem aptidões agrícolas, sendo que os frutos das cactáceas são os principais produtos para a agricultura, pois a maioria dos cactos possui frutos comestíveis (KIESLING, 2001).

O gênero *Opuntia* possui ampla distribuição em regiões áridas e semi-áridas, por serem as cactáceas mais exploradas em relação ao seu

potencial alimentar e forrageiro (ALVES *et al.*, 2008). Há relatos de que as plantas deste gênero são utilizadas para a produção de ácido carmínico (MEDINA *et al.*, 2007). Os cladódios de *Opuntia ficus indica* *sp* são utilizados como verduras e os frutos consumidos *in natura* ou constituem matéria-prima de diversos outros produtos (ALVES *et al.*, 2008).

*Opuntia milpa alta*, outro membro das cactáceas, é uma planta tropical ou subtropical cultivada em regiões secas como uma importante fonte de nutrientes (HABIBI *et al.*, 2005). O suco obtido de seus cladódios possui uma grande quantidade de compostos fenólicos, em particular alguns flavonoides, proantocianidinas e constituintes antioxidantes como vitaminas C, E e carotenóides (PANICO *et al.*, 2005).

A *Opuntia ficus-indica*, ilustrada na Figura 1, pode ser destacada como a mais importante dentre os cactos utilizados na agricultura. Ela é cultivada desde tempos pré-hispânicos e agora ganha destaque devido à grande importância econômica nos trópicos áridos em todo o mundo (KIESLING, 2001). Em alguns países, os caules jovens, também chamados nopalitos, são utilizados para consumo humano ou para forragem (SÁENZ *et al.*, 2002).

Figura 1 – *Opuntia ficus indica*: caule e frutos.

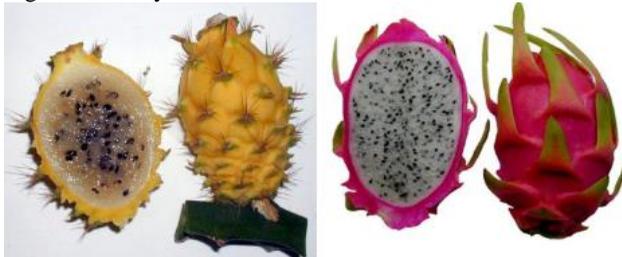


Fonte: (ALVES *et al.*, 2008).

Existem ainda cactáceas pertencentes ao gênero *Hylocereus* que são exóticas e pouco conhecidas. A pitaya ou “rainha da noite” (Figura 2) possui alto potencial agrônômico e econômico (ORTIZ *et al.*, 1995). *Selenicereus megalanthus*, nome científico da pitaya amarela, possui frutos saborosos e suportam temperaturas maiores que a dos outros cactos. A pitaya vermelha, *Hylocereus undulatus*, também conhecida como

“fruta-dragão” tem sabor agradável e ao contrário da amarela, possui muita sensibilidade a variações de temperatura (MIZRAHI *et al.*, 2002).

Figura 2 – Pitayas amarela e vermelha.



Fonte: (MIZRAHI *et al.*, 2002).

### 2.1.1 O gênero *Cereus*

O gênero *Cereus* pertence à subfamília *Cactoideae*, grupo *Cereoideae*. Compreendendo plantas arbóreas ou arbustivas com talos eretos, *Cereus* significa “tocha” (do latim ou grego), devido ao formato de candelabro do primeiro cacto conhecido. Com 900 espécies publicadas, as espécies deste gênero possuem flores, frutos e espinhos, e são encontradas desde as Índias até a América do Sul (BRITTON e ROSE, 1963). Este gênero desenvolveu boa adaptação a condições ambientais extremamente secas, quentes e salinas (MAUSETH, 2000).

De acordo com Scheinvar (1985), os frutos do gênero são carnosos, grandes, vermelhos, raramente amarelos, desnudos, com deiscência longitudinal quando bem maduros, com restos florais caducos depois da fertilização e comestíveis.

Podem ser citadas algumas espécies do gênero *Cereus*: *Cereus uruguayanus*, *Cereus xanthocarpus*, *Cereus hildmaniannus ssp. hildmaniannus*, *Cereus milesimus*, *Cereus neonesioticus*, *Piptanthocereus bageanus*, *Piptanthocereus neonesioticus*, *Piptanthocereus uruguayanus*, *Cereus hildmaniannus ssp. Uruguayanus*, *Cereus hildmaniannus ssp. xanthocarpus*. Estas espécies podem ser encontradas na Argentina, Paraguai, Uruguai e Brasil, neste último nos estados de Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, São Paulo e Santa Catarina (DURLI, 2008).

Há relatos na literatura de que *Cereus peruvianus* pode ser a mesma espécie que *Cereus jamacaru* (Figura 3). Trata-se de um cacto colunar com muitos ramos e frutos lisos de tamanho médio que variam a

cor da pele do amarelo para o vermelho. Possuem polpa branca com sabor doce e sementes pretas macias (MIZRAHI *et al.*, 2002).

Figura 3 – Frutos de *Cereus peruvianus* e *Cereus jamacaru*.



Fonte: (MIZRAHI *et al.*, 2002).

### 2.1.2 *Cereus hildmaniannus* K. Schum

Bruxel e Jasper (2005) definem o cacto *Cereus hildmaniannus* K. Schum como uma planta ereta, colunar, arbórea ou arbustiva, terrícola, rupícola e eventualmente epífita, de até 8 metros de altura. Seus cladódios são articulados com constrictões de crescimento características e coloração geralmente verde. Os espinhos são radiais e rígidos, castanhos a pretos. Suas flores têm de 10 a 18 cm de comprimento. Possuem fruto carnoso, oval-alongado e amarelo quando maduro, contendo sementes pretas. A floração e frutificação do *Cereus* (Figura 4) ocorrem principalmente nos meses de outubro a janeiro.

Esta espécie é encontrada no Paraguai, Bolívia, Uruguai, Argentina e Brasil; mais precisamente em São Paulo, Rio de Janeiro e região sul (SCHUMANN, 1890; SCHEINVAR, 1985).

Na região do meio oeste catarinense, o *Cereus hildmaniannus* K. Schum é popularmente conhecido como “tuna”. Possui frutos carnosos e comestíveis de sabor doce, os quais são consumidos pela população rural, porém são pouco conhecidos pela população da zona urbana. A tuna cresce naturalmente em regiões com solos rasos, pedregosos e com escassez de água. Promissora dentro do contexto “Plantas do Futuro”, pode se tornar mais uma opção de renda para o pequeno produtor (DURLI, 2008).

Esta espécie ainda é pouco conhecida, visto que não existem muitos dados científicos na literatura sobre seu uso doméstico ou viabilidade tecnológica. Poucos trabalhos acadêmicos são encontrados a respeito deste cacto.

O trabalho de Porto (2009) apresenta as características físico-químicas e o comportamento reológico da polpa do fruto da tuna. A autora conclui que o fruto de *Cereus hildmaniannus* possui teores centesimais dentro da faixa encontrada para outros frutos da mesma família.

Branco (2011) mostra a caracterização físico-química e reológica da mucilagem do cladódio, deduzindo que a mucilagem é pouco solúvel em solução aquosa e não é higroscópica.

Figura 4 – *Cereus hildmaniannus* K. Schum a) Frutos e cladódios. b) Polpa do fruto. c) Flor.



Fonte: (GIEHL, 2012).

O trabalho de Piletti (2011) mostra a caracterização química da polpa do fruto da tuna de acordo com a Tabela 1.

Os teores de proteínas, açúcares, fibras dietéticas e cinzas dos cactos são semelhantes aos de outras frutas, mas seu alto conteúdo em aminoácidos totais, dominado por prolina e taurina é uma característica especial de frutos dos cactos. A polpa é uma boa fonte de vitamina C, cálcio e magnésio, além de outros componentes como pectina e mucilagem que influenciam o sabor agradável (STINTZING *et al.*, 2001).

Tabela 1 – Propriedades químicas da fração solúvel da polpa do fruto.

<b>Parâmetros</b>	<b>Polpa</b>
Rendimento (%)	2,18
Umidade (%)	83,12
Sólidos Solúveis (°Brix)	6,01±0,15
Carboidratos Totais (g/100g)	7,59±0,070
Carboidratos Redutores (g/100g)	6,98±0,035
Acidez (g/100mL)	0,37±0,249
pH	3,97±0,460
Lipídeos (g/100g)	0,03±0,015
Proteínas (g/100g)	1,12±0,013
Cinzas (g/100g)	0,11±0,015
Vitamina C (mg/100 mL)	0,98
Teor de fenólicos (mg EAG/L)*	324±0,707
Capacidade antioxidante (% SQR)**	92,26

\* Equivalente de ácido gálico

\*\* Sequestro de radicais livres

Plantas pertencentes à família das cactáceas possuem frutos e cladódios mucilaginosos, componente este que apresenta grande capacidade para absorver água (SÁENZ *et al.*, 2004). Esta mucilagem desempenha um papel muito importante na fisiologia das plantas, assegurando a elas baixa transpiração para adaptação em climas áridos, uma vez que as cactáceas crescem normalmente em condições de stress (ALVAREZ *et al.*, 1992).

A mucilagem é um carboidrato complexo com composição variada e dependente da espécie (SÁENZ *et al.*, 2004).

### 2.1.3 Usos e Propriedades Funcionais

Muitos trabalhos relatam o uso das cactáceas para diferentes finalidades.

No Brasil, a *Opuntia sp.* foi introduzida pelos portugueses com o objetivo de desenvolver a criação de cochonilha para a obtenção do pigmento carmim, muito utilizado naquela época nas indústrias de roupas, cosméticos, medicamentos e alimentos. A partir de 1990, a planta passou a ser utilizada como forragem, e atualmente a área plantada de *Opuntia* para esta finalidade chega a cerca de 500.000 ha na região nordeste e nos estados de Goiás, Mato Grosso e Minas Gerais. O cultivo deste cacto para a produção de frutos se concentra na região de São

Paulo, Pernambuco e Paraíba. Uma pequena parte da produção paulista é destinada ao mercado interno, a outra é exportada para a Europa e Estados Unidos, onde existe o hábito do consumo deste fruto exótico (ALVES *et al.*, 2008).

Segundo Hollis e Scheinvar (1995), as cactáceas são amplamente utilizadas na medicina tradicional por curandeiros no México, como analgésicos, antibióticos, diuréticos; para o tratamento de problemas intestinais, tosse e afecções cardíacas e nervosas; para curar alguns tipos de úlceras e também para tentar o controle de diabetes e colesterol.

Barbera *et al.* (1999) descrevem o uso medicinal da *Opuntia* no México para tratar diabetes, diarreia, obesidade e como anti-inflamatório. No Chile, a mucilagem da *Opuntia* é utilizada como adesivo para a cal, melhorando a qualidade na pintura de casas; no reboco e tijolos cozidos e não cozidos, para melhorar as características adesivas e hidrofóbicas. Seu uso também foi relatado na purificação de água, juntamente com o sulfato de alumínio, para remover os metais (Fe, Al e Mn) (SÁENZ *et al.*, 2004).

Outra cactácea, o *Cereus jamacaru*, é utilizado no tratamento de problemas renais, principalmente “pedra nos rins” e também como xarope para o tratamento de tosse, bronquites e úlceras (AGRA, 1996).

Os frutos e cladódios da *Opuntia spp.* foram bastante utilizados para fins medicinais, como cosméticos, corante natural e material de construção. Atualmente, os frutos desta cactácea ganham destaque para consumo em seu país de origem (México ou Chile) e também são exportados para o mercado europeu. Estudos recentes indicam um aumento na utilização dos frutos em sucos, concentrados, pós (como ingredientes funcionais para o preparo de refrigerantes) e corantes (MOßHAMMER *et al.*, 2006).

Trabalhos recentes mostram que a polpa do fruto de *Opuntia spp.* possui várias propriedades funcionais e pode ser boa fonte natural de compostos funcionais e antioxidantes tais como vitamina C, compostos fenólicos, fibras, taurina e betalaína. Esta última se trata de um corante natural amplamente utilizado na indústria alimentar (PIGA, 2004).

De acordo com El-Samahy e colaboradores (2006), os frutos da *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller também são usados para consumo humano, e os cladódios utilizados para forragem. Esta cactácea é comumente encontrada na África, Austrália e Mediterrâneo.

*Opuntia dillenii*, originária de partes da América do Norte, México e América do Sul, possui frutos saborosos e refrescantes com sementes comestíveis. Geralmente, os frutos são consumidos frescos, mas também podem ser consumidos cozidos ou secos ao sol. O preparo de

suco, geleias, xaropes e produtos similares é bastante habitual (BÖHM, 2008). Estes frutos apresentam efeitos analgésico, anti-inflamatório (LORO *et al.*, 1999; PARK *et al.*, 2001), anti-hiperglicêmico e hipocolesterolêmico (ROMAN-RAMOS *et al.*, 1995).

Villaseñor e colaboradores (2008) relatam o uso da *Opuntia*, de nome popular “nopal”, para várias finalidades. Como fruta, a cactácea é cultivada em diversos países: México, Itália, Chile, Colômbia, sul da África, Estados Unidos, dentre outros. Também é utilizada como hortaliça, forragem e planta medicinal. Em muitos outros países, se utiliza o nopal para proteger o solo da erosão hídrica e eólica, evitando a desertificação em zonas áridas e semi-áridas.

Além disso, o autor destaca uma série de setores industriais que podem se beneficiar com os produtos obtidos a partir do nopal. São eles:

- Agroindústria de alimentos e bebidas para o consumo humano (produção de diversos alimentos, bebidas alcoólicas e não alcoólicas);
- Agroindústria de alimentos para animais;
- Indústrias farmacêutica, cosmética (cremes e xampus) e de suplementos alimentícios (fibra e farinha);
- Indústria para produção de aditivos naturais (gomos e corantes);
- Construção civil (compostos ligantes);
- Setor energético (produção de biogás a partir dos cladódios);
- Produção de insumos para a agricultura (para melhorar a drenagem dos solos);
- Indústria têxtil (corantes).

As sementes da polpa do fruto da *Opuntia ficus-indica* cultivada no Chile foram estudadas por Sepúlveda e Sáenz (1988). Os autores analisaram a composição das sementes e concluíram que as mesmas possuem forte potencial para a obtenção do azeite comestível. Outro estudo realizado por El Kossori e colaboradores (1998) mostra que as sementes da *Opuntia* cultivada no Marrocos possuem alto conteúdo de fibra, em torno de 54,2g/100g, principalmente fibra celulósica.

Galati *et al.* (2001) perceberam os efeitos cicatrizantes, anti-inflamatórios e atividade antiúlcera quando ratos foram alimentados com os cladódios de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. Os resultados mostraram uma diminuição dos níveis de colesterol ruim (LDL) e triglicéridos.

deos. Efeitos esses atribuídos à mucilagem e pectina presente nos cladódios da cactácea.

De acordo com Gardiner *et al.* (1999), a mucilagem melhora as características de infiltração de água no solo tanto quanto as poliacrilamidas.

Por todas estas características e funções das cactáceas, estudos realizados pela FAO demonstram a importância delas como recursos naturais e potencial fonte de renda, emprego e nutrientes (VILLASEÑOR *et al.*, 2008).

## 2.2 HIDROCOLOIDES

Hidrocoloides de diferentes fontes são amplamente utilizados em sistemas alimentícios para diversos fins, tais como espessantes, agentes gelificantes, estabilizantes e modificadores de textura. Do ponto de vista químico, eles são polissacarídeos (goma arábica, goma guar, goma xantana, carboximetilcelulose, amido e pectina) ou proteínas (gelatina). Também são definidos como polímeros que interagem fortemente com a água. Seu valor calórico geralmente é bastante baixo, sendo úteis, particularmente, no desenvolvimento de alimentos dietéticos. Mesmo não tendo influência direta no aroma e sabor dos alimentos, eles são significativamente efetivos na formação de gel, retenção de água, emulsificação e retenção de aroma (KRUMEL e SARKAR, 1975).

Muitos produtos como pães, molhos, sorvetes, comidas instantâneas, bebidas e ketchups podem conter hidrocoloides em sua formulação, pois eles possuem habilidade de modificar as propriedades reológicas e funcionais desses sistemas alimentícios (ROSELL *et al.*, 2001).

A maioria das mucilagens e dos exsudatos de plantas possuem polissacarídeos em sua composição, os quais são importantes na formulação de alimentos (KOOCHKEI *et al.*, 2009). O uso de polissacarídeos como espessantes está associado à capacidade que eles possuem de aumentar a viscosidade do líquido, resultando em características organolépticas e texturas desejáveis em alimentos (TONELI *et al.*, 2005).

Além disso, muitos estudos mostram o uso de hidrocoloides como substitutos de gordura, substitutos de glúten na formulação de pães sem glúten e como fonte de fibras (ROSELL *et al.*, 2001).

Devido à importância comercial dos hidrocoloides, a caracterização físico-química destes polissacarídeos é de fundamental importância (ZOHURIAAN e SHOKROLAHI, 2004).

A escolha do polissacarídeo mais apropriado depende das suas propriedades físicas e químicas, assim como das características desejá-

veis no alimento e das condições de processamento, como temperatura e concentração (TONELI *et al.*, 2005).

Os principais polissacarídeos utilizados na indústria de alimentos e suas aplicações estão listados a seguir (TONELI *et al.*, 2005):

- Amido – é um dos produtos de origem vegetal mais abundante na natureza encontrado em raízes, sementes e caules de diversas plantas. O amido nativo ou em suas formas modificadas é um ingrediente bastante utilizado em alimentos e produtos relacionados. Trata-se de um polímero solúvel que pode fornecer dispersões viscosas, soluções ou géis, dependendo das condições de concentração e temperatura.
- Celulose – é uma das substâncias orgânicas naturais mais abundantes na natureza. Possui vasta aplicação no preparo de alimentos formulados, principalmente devido à estrutura química do derivado da celulose. Dentre as funções dos derivados da celulose em alimentos, destacam-se: regulação das propriedades reológicas, emulsificação, estabilização de espumas e capacidade de ligação à água.
- Pectinas – possuem a capacidade de formar géis em certas circunstâncias. Assim, é um importante aditivo utilizado em geleias, marmeladas e na indústria confeitaria. As pectinas têm pouco uso como espessantes devido à sua baixa capacidade em formar soluções viscosas, quando comparadas com outros biopolímeros.
- Galactomananos – em muitas sementes, as paredes celulares dos tecidos são espessas e possuem grande depósito de polissacarídeos. São importantes na indústria de alimentos, pois resultam em soluções com alta viscosidade, atuam como emulsificantes e interagem efetivamente com outros polissacarídeos para formar géis.
- Alginatos – são polissacarídeos estruturais que ocorrem nas algas marinhas. Não possuem valor nutricional e são utilizados como aditivos para melhorar, modificar e estabilizar a textura de certos alimentos.
- Polissacarídeos microbianos – apresentam a vantagem de possuírem propriedades físicas e químicas reprodutíveis. Dentre os polissacarídeos microbianos, as gomas xantana e gelana destacam-se para a aplicação em alimentos. Esses polissacarídeos microbianos apresentam uma série de

regularidades estruturais que raramente são encontradas em polímeros de carboidratos provenientes de outras fontes.

- Gomas e mucilagens – as gomas de origem vegetal, naturais e sem modificação são reconhecidas na indústria de alimentos como aditivos com propriedades físicas bem definidas, sendo a goma arábica a mais conhecida.
- Inulina – é um polissacarídeo de reserva que atua como substituto de gordura, com a vantagem de apresentar baixo teor calórico e de atuar no organismo humano de maneira similar às fibras dietéticas.

A goma xantana é um polissacarídeo de elevado interesse industrial, principalmente para as indústrias de alimentos, farmacêuticas e de petróleo. O interesse é devido às suas propriedades físico-químicas, que superam as dos outros polissacarídeos disponíveis no mercado. Dentre estas propriedades destacam-se a sua elevada viscosidade em baixas concentrações (0,05-1,0%) e estabilidade em ampla faixa de temperatura e de pH, mesmo na presença de sais (LUVIELMO e SCAMPARINI, 2009).

Algumas propriedades funcionais dos hidrocoloides são descritas a seguir (IMESON, 2009):

- Viscosidade – provavelmente é a propriedade mais utilizada. Os hidrocoloides são normalmente utilizados em sistemas onde o conteúdo de óleo ou gordura foi reduzido ou eliminado através da substituição pela água. O hidrocoloide forma uma solução de alta viscosidade com a água, a qual, por sua vez, substitui a gordura ou óleo, fornecendo um produto com propriedades similares ao correspondente produzido com gordura.
- Estabilidade – se o óleo ou a gordura são parcialmente removidos de uma formulação, sendo substituídos pela solução aquosa contendo o hidrocoloide, forma-se uma emulsão. O hidrocoloide estabiliza essa emulsão para evitar a separação; no caso de alimentos congelados, ele atua controlando a formação de cristais de gelo.
- Suspensão – as partículas insolúveis presentes no produto que teve sua viscosidade alterada, que em geral aumentou e mostrou um comportamento mais espesso, devem ser eliminadas ou minimizadas pela separação ou

decantação. Alguns hidrocoloides criam soluções com uma tensão residual que mantêm as partículas imobilizadas em suspensão.

- Gelificação – um dos aspectos mais importantes dos hidrocoloides é a habilidade de gelificação e solidificação em produtos fluidos. A pectina, gelatina e o ágar são agentes gelificantes clássicos. Outros, gelificam em condições específicas: alginatos gelificam com cátions; xantana e goma locusta não gelificam individualmente, mas juntas apresentam sinergia e formam um gel forte e coeso.
- Nutricional e funcional – alguns hidrocoloides como goma arábica e goma guar são bastante utilizadas como fonte de fibra dietética solúvel. Os benefícios funcionais vão desde a redução do colesterol até a prevenção do risco de câncer.

A procura por hidrocoloides com funcionalidade específica tem aumentado recentemente. Assim, cientistas e tecnólogos de alimentos estão sempre procurando novas fontes de polissacarídeos. Por conseguinte, ainda há lugar para estas novas fontes de hidrocoloides de plantas para atender a esta demanda (KOOCHKEI *et al.*, 2009).

### 2.3 MUCILAGEM

A mucilagem faz parte da fração polissacarídica das plantas, capaz de se tornar viscosa na presença de água, e *in vivo* atua como um reservatório de água (CÁRDENAS *et al.*, 1998). Normalmente, a mucilagem é um produto do metabolismo formado no interior da célula e pode ser produzida sem prejuízo para as plantas. A mucilagem é frequentemente encontrada em diferentes partes das plantas, como por exemplo, nas células da epiderme das folhas, em cascas de sementes e também em raízes (JANI *et al.*, 2009).

Devido à sua estrutura química, os polissacarídeos, quando em solução, apresentam a capacidade de formar géis. Esse processo envolve diferentes mecanismos de associação entre cadeias, os quais dependem das características individuais do polímero aplicado. Dessa forma, os géis resultantes de diferentes polímeros irão apresentar formas estruturais e texturas diferentes, podendo ser aplicados em uma grande variedade de alimentos (TONELI *et al.*, 2005).

De acordo com Jani *et al.* (2009), a mucilagem pode ser definida como uma substância translúcida, amorfa e polimérica, formada por unidades de monossacarídeos. Muitas mucilagens possuem a cadeia monossacarídica combinada com ácidos urônicos. A hidrólise da mucilagem fornece mistura de açúcares e ácidos urônicos. Contendo grupos hidrofílicos, podem combinar com água para formar soluções viscosas ou géis. Polissacarídeos lineares ocupam mais espaço e formam soluções mais viscosas do que os análogos altamente ramificados com mesma massa molar. Os compostos ramificados formam géis mais facilmente e são mais estáveis, pois a interação extensiva ao longo da cadeia não é possível.

A mucilagem também pode atuar como fibra dietética no organismo humano (ALLER *et al.*, 2004).

As fibras dietéticas são aquelas resistentes às enzimas digestivas (CECCHI, 2003), e de acordo com sua solubilidade em água são classificadas como solúvel ou insolúvel (BRANCO, 2011; PILETTI, 2011). As fibras solúveis são compostas por mucilagem, gomas, pectinas e hemiceluloses. As insolúveis são compostas pela celulose, lignina e grande parte de hemicelulose (ATALAH *et al.*, 1997).

Estas fibras dietéticas estão associadas a vários efeitos fisiológicos no organismo humano, tais como a redução dos níveis de colesterol no sangue, controle de glicose em diabéticos (PERIAGO *et al.*, 1993), redução do risco de alguns tipos de câncer, diminuição dos sintomas da constipação crônica e hemorroidas (ATALAH *et al.*, 1997).

Em geral, a mucilagem contém quantidades variáveis de L-arabinose, D-galactose, L-ramnose, D-xilose e ácido D-galacturônico, possuindo frações solúveis e insolúveis em água. A fração solúvel tem a capacidade de formar géis na presença de sais de cálcio e magnésio, sendo bastante interessante para a indústria de géis dietéticos; enquanto a outra fração não apresenta propriedades gelificantes (CÁRDENAS *et al.*, 1997).

Jani *et al.* (2009) relatam algumas características e vantagens dos materiais naturais obtidos de plantas, especialmente da mucilagem:

- Biodegradáveis – polímeros biodegradáveis são produzidos em todos os organismos vivos e representam fontes renováveis, não causando impactos adversos aos humanos e ao meio ambiente;
- Baixo custo – sendo proveniente de fonte natural, o custo da produção é muito menor quando comparado ao material sintético;

- Fontes comestíveis – a maioria das mucilagens é obtida de fontes comestíveis, principalmente de plantas e algas;
- Disponibilidade local – em países em desenvolvimento, os governos promovem a produção de materiais de plantas em vista das várias aplicações em diversas indústrias;
- Processamento amigável em relação ao meio ambiente – as mucilagens de diferentes fontes são facilmente coletadas em diferentes estações do ano, em quantidades apreciáveis, por um processo simples de produção.

O alto potencial de aplicações destes biopolímeros, com propriedades estruturais, físico-químicas e funcionais amplas, tem estimulado a exploração e pesquisa de novos polissacarídeos (GERESH *et al.*, 2000).

## 2.4 REOLOGIA

Reologia é o estudo do comportamento da deformação e escoamento da matéria, submetida a tensões em determinadas condições termodinâmicas ao longo de um intervalo de tempo. Inclui propriedades como: elasticidade, viscosidade e plasticidade (BIRD *et al.*, 1960).

Ela pode ser aplicada a qualquer tipo de material como água, plásticos, sangue, tintas, cosméticos, vidros, borrachas, materiais cerâmicos, alimentos e bebidas (BOURNE, 2002).

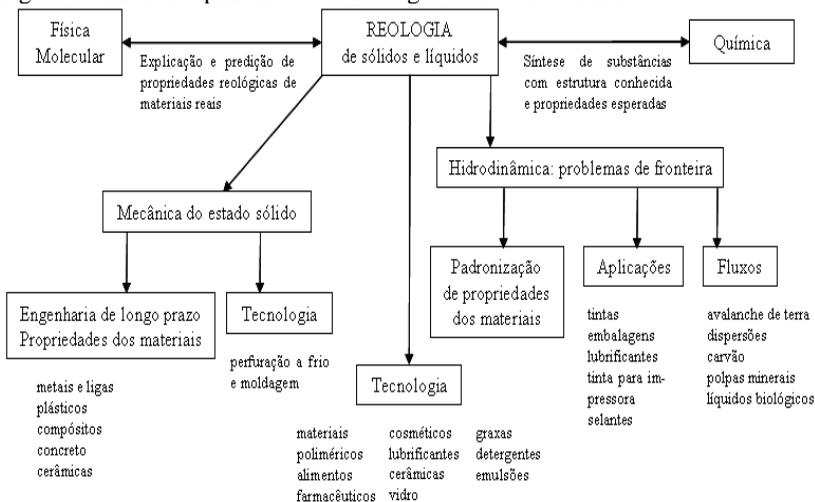
A grande maioria das aplicações de polissacarídeos na indústria alimentícia está associada à capacidade que eles possuem de alterar, drasticamente, as suas propriedades físicas quando em solução, resultando em soluções de alta viscosidade ou criando redes intermoleculares coesivas. Nesses casos, o conhecimento do comportamento reológico das soluções de polissacarídeos é de fundamental importância no projeto, na avaliação e na modelagem de processos. Além disso, as propriedades reológicas também são um indicador da qualidade do produto e desempenham um papel fundamental na análise das condições de escoamento em processos de alimentos como pasteurização, evaporação e secagem (TONELI *et al.*, 2005).

A reologia é importante em diferentes áreas da ciência dos alimentos. Ela está presente nas propriedades texturais que as pessoas percebem quando consomem alimentos, como por exemplo, a cremosidade, suculência, maciez, suavidade e dureza. A estabilidade e aparência dos alimentos dependem das características reológicas e de seus componentes (MCCLEMENTS, 2005).

Hidrocoloides alimentares são materiais complexos estruturalmente e podem exibir uma vasta gama de propriedades reológicas em diferentes condições. Cálculos nos processos envolvendo escoamento de fluidos como dimensionamento de bombas, extração, filtração, extrusão e purificação requer o conhecimento de dados reológicos, e a reologia do produto é necessária para a análise de condições de fluxo em vários processos alimentícios (KOOCHKEI *et al.*, 2009).

A viscosidade é considerada um dos principais parâmetros reológicos e mede a resistência do fluido ao escoamento quando uma taxa de deformação é aplicada. O comportamento de um alimento durante o seu processo pode variar significativamente, pois a consistência e a composição do material podem ser alteradas devido a etapas de mistura, aquecimento, resfriamento, homogeneização, aeração, fermentação, cristalização, dentre outros, contribuindo, portanto, na modificação da viscosidade (BHATTACHARYA, 1997).

Figura 5 – Interdisciplinaridade da reologia com outras ciências.



Fonte: (MALKIN, 1994).

De acordo com Lewis (1993), o conhecimento da viscosidade de um fluido é importante para o controle de qualidade das matérias-primas e para avaliação do efeito das variações, tanto nas condições de processamento sobre os produtos durante a fabricação, como no produto final. O conhecimento da viscosidade pode contribuir para a otimização de

processos, redução dos custos nos ingredientes e melhoria da consistência do produto.

A interdisciplinaridade da reologia com outras ciências naturais e aplicadas está apresentada na Figura 5. Observa-se que a reologia é uma ciência que apresenta muitos pontos de relacionamento com a química e a física fundamental, e também tem aplicação na tecnologia e na engenharia de materiais (MALKIN, 1994).

### 2.4.1 Reologia de soluções diluídas

Em soluções diluídas, as cadeias individuais de um componente, polímero ou macromolécula, são separadas e suas interações intermoleculares são desprezíveis (RAZAVI *et al.*, 2012).

Os polissacarídeos em soluções diluídas encontram-se na forma de espirais desordenadas e aleatórias, cuja forma flutua continuamente através do movimento browniano. As propriedades apresentadas por essas soluções estão associadas ao grau de ocupação do espaço pelo polímero. Em baixas concentrações, a solução é formada por ilhas de espirais que estão bem separadas umas das outras e completamente livres para se movimentarem de forma independente. Com o aumento da concentração, as espirais começam a se tocar e pode haver a formação de moléculas adicionais pela sobreposição ou pela acomodação de uma espiral na outra. Com a formação dessas sobreposições, as cadeias individuais poderão se movimentar somente pelo processo de contorção através da rede emaranhada de cadeias vizinhas. O início do processo de sobreposição das espirais é determinado pelo número de cadeias presentes (proporcional à concentração) e pelo volume que cada uma ocupa (associado ao peso molecular) (TONELI *et al.*, 2005).

O efeito observado quando um polímero é adicionado a um solvente é dependente de sua concentração, peso molecular e conformação de sua cadeia. Assim, a viscosimetria é um método apropriado para fornecer informações sobre o tamanho e a forma das moléculas em solução (MELLO *et al.*, 2006).

Um dos componentes mais importantes das macromoléculas é a forma como esta interage com um solvente específico. Este pode ser estudado em solução diluída, e muitas das informações obtidas são dadas pela viscosidade intrínseca. Ela fornece informações não somente sobre as propriedades fundamentais do soluto e sua interação com o solvente, mas também sobre a conformação das cadeias flexíveis (linear e não-linear). Também é importante no cálculo da concentração crítica, onde o enovelamento molecular aparece (PAMIES *et al.*, 2008).

A viscosidade intrínseca também pode ser definida como uma medida do volume hidrodinâmico ocupado pela macromolécula, o qual está relacionado com o tamanho e a conformação das cadeias macromoleculares. Ela é determinada experimentalmente a partir de medições da viscosidade específica das soluções sob concentrações muito baixas, conforme a Equação 1 (HIGIRO *et al.*, 2007).

$$[\eta] = \lim_{C \rightarrow 0} \left( \frac{\eta_{esp}}{C} \right) \quad (1)$$

Onde:

$[\eta]$  – viscosidade intrínseca ( $\text{mL.g}^{-1}$ )

$C$  – concentração do polímero na solução ( $\text{g.mL}^{-1}$ )

$\eta_{esp}$  – viscosidade específica (adimensional)

A viscosidade específica (Equação 2) determina a contribuição do soluto (polímero) sobre a viscosidade da solução, ou seja, pode ser considerada como o aumento na viscosidade da solução, devido à presença do polímero, em relação à viscosidade do solvente (MELLO *et al.*, 2006).

$$\eta_{esp} = \frac{\eta_{solução} - \eta_{solvente}}{\eta_{solvente}} = \frac{\eta_{solução}}{\eta_{solvente}} - 1 \quad (2)$$

A viscosidade relativa é dada pela Equação 3.

$$\eta_{rel} = \frac{t_{solução}}{t_{solvente}} \quad (3)$$

Onde:

$\eta_{solução}$  – viscosidade da solução (Pa.s)

$\eta_{solvente}$  – viscosidade do solvente (Pa.s)

$\eta_{relativa}$  – viscosidade relativa (adimensional)

$t_{solução}$  – tempo de escoamento da solução (s)

$t_{solvente}$  – tempo de escoamento do solvente (s)

A concentração crítica de overlap ( $C^*$ ) é definida como a concentração em que a sobreposição das espirais começa a ocorrer, ou seja, é a concentração de transição das soluções poliméricas do regime diluído para o semi-diluído. O regime diluído é caracterizado pela pequena inte-

ração entre as moléculas nas soluções diluídas. Quando há uma maior interpenetração dos novos poliméricos, diz-se que a solução está no regime concentrado (LAUNAY *et al.*, 1997).

Conhecendo a concentração crítica de overlap das soluções poliméricas, é possível entender o comportamento reológico e dinâmico do processamento de polímeros. Esta concentração crítica é dada pela Equação 4.

$$C^* = \frac{1}{[\eta]} \quad (4)$$

Diversas equações matemáticas estão disponíveis na literatura para determinar a viscosidade intrínseca de uma solução polimérica por extrapolação gráfica. As mais utilizadas são as equações de Huggins e Kraemer (Equações 5 e 6), respectivamente (KRAEMER, 1938; HUGGINS, 1942)

$$\frac{\eta_{esp}}{C} = [\eta]_h + k_h \cdot [\eta]_h^2 \cdot C \quad (5)$$

$$\frac{\ln(\eta_{rel})}{C} = [\eta]_k - k_k \cdot [\eta]_k^2 \cdot C \quad (6)$$

Onde  $[\eta]_h$  e  $[\eta]_k$ , representam as viscosidades intrínsecas e  $k_h, k_k$  as constantes relativas às Equações de Huggins e Kraemer.

A viscosidade intrínseca é amplamente utilizada para análise ou caracterização de polímeros sintéticos, macromoléculas biológicas, nanopartículas e coloides (PAMIES *et al.*, 2008).

De acordo com Tager (1972), quanto maior a afinidade entre o polímero e o solvente, maior será o valor da viscosidade intrínseca.

A constante de Huggins é uma medida das interações hidrodinâmicas entre as macromoléculas (LAI *et al.*, 2000) e fornece informações sobre as interações entre polímero e solvente. Quanto menor for o seu valor, melhor deverá ser o solvente, ou seja, mais solvatada deverá estar a macromolécula. Já a constante de Kraemer depende da razão entre o volume hidrodinâmico ocupado por duas moléculas de soluto que interagem entre si e o volume hidrodinâmico ocupado por uma molécula isolada.

## CAPÍTULO 3: MATERIAIS E MÉTODOS

---

Este capítulo apresenta de forma detalhada as metodologias propostas para a caracterização das frações solúvel e insolúvel da mucilagem do fruto e do cladódio de *Cereus hildmaniannus* K. Schum.

### 3.1 EXTRAÇÃO DA POLPA E SEPARAÇÃO DAS FRAÇÕES SOLÚVEL E INSOLÚVEL DA MUCILAGEM

Os frutos e cladódios de *Cereus hildmaniannus* K. Schum, safra 2010, são provenientes do município de Zortéa, interior oeste de Santa Catarina. Após seu recebimento, os mesmos foram selecionados e lavados em água corrente para remoção das sujidades.

#### 3.1.1 Frutos

Os frutos (Figura 6) higienizados com solução 100 ppm de hipoclorito de sódio por aproximadamente 30 minutos foram lavados com água destilada. Depois, foram cortados longitudinalmente e a polpa foi extraída com utensílio higienizado, acondicionada em embalagens plásticas, seladas com seladora marca Sulpack, modelo SV350M, e armazenadas a -18°C até utilização.

Figura 6 – Fruto de *Cereus hildmaniannus* lavado e cortado longitudinalmente.



Fonte: Autor.

A polpa dos frutos descongelada foi submetida a processo para separação das frações solúvel e insolúvel. A polpa foi colocada em béquer e misturada a 300 rpm por 40 minutos com agitador mecânico, marca DIST, modelo DI-14MP. Após isso, a polpa foi centrifugada em

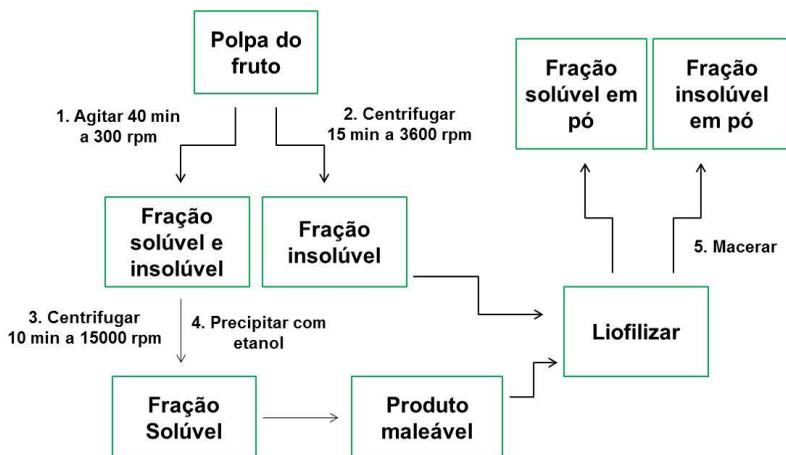
centrífuga FANEM, modelo Excelsa®II 206-BL, por 15 minutos a 3600 rpm. As duas frações foram assim obtidas e separadas, estando a fração solúvel presente no sobrenadante. As sementes foram descartadas do precipitado, e a fração solúvel foi novamente centrifugada a 15000 rpm sob refrigeração por 10 minutos em centrífuga marca Sigma, modelo 2K15, para total separação das partes insolúveis ainda presentes.

A fração solúvel foi precipitada com etanol na proporção de três volumes de etanol para cada volume de amostra. Após cada adição de etanol, o precipitado era separado com uso de uma peneira, até obtenção de um produto esbranquiçado. O método mais adequado para a precipitação da fração solúvel é o que utiliza etanol, sendo este um método rápido, barato e atóxico quando comparado ao método de precipitação com acetona (ITURRIAGA *et al.*, 2007).

A fração insolúvel e a fração solúvel precipitada foram liofilizadas em liofilizador marca Jouan, modelo Lp3, maceradas em almofariz de porcelana e armazenadas em embalagem plástica a temperatura ambiente para as análises posteriores.

A Figura 7 apresenta o fluxograma da separação das frações solúvel e insolúvel da mucilagem do fruto.

Figura 7 – Fluxograma da separação das frações da mucilagem do fruto.



### 3.1.2 Cladódios

Os espinhos foram retirados manualmente dos cladódios (Figura 8), os quais foram lavados com água destilada, acondicionados em embalagens plásticas e armazenados no freezer a  $-18^{\circ}\text{C}$  até utilização.

Figura 8 – Cladódio de *Cereus hildmaniannus* com espinhos e cortado radialmente.



Fonte: (BRANCO, 2011).

Os cladódios descongelados, descascados e cortados foram colocados em béquer com água destilada na proporção 1:1 (m/m) (BRANCO, 2011). A água é utilizada por outros autores para a extração à quente da polpa mucilaginoso de *Opuntia ficus-indica* (CÁRDENAS *et al.*, 1997; MATSUHIRO *et al.*, 2006).

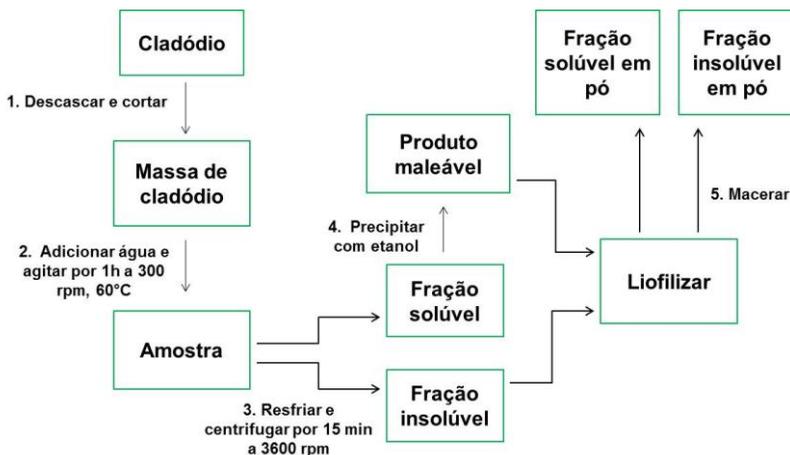
Procedeu-se à agitação mecânica em agitador marca DIST, modelo DI-14MP, por 60 minutos a 300 rpm à temperatura aproximada de  $60^{\circ}\text{C}$ , e mantida constante por chapa de aquecimento marca TECNAL, modelo TE-085. Segundo a literatura, um aumento do tempo de extração pode induzir a mudanças na estrutura dos polissacarídeos e como consequência, diminuir o rendimento da extração. O uso de temperaturas mais elevadas, em torno de  $80$  a  $90^{\circ}\text{C}$ , pode diminuir o rendimento da extração pelo aumento da hidrólise dos polissacarídeos (CAI *et al.*, 2008).

Após resfriamento até temperatura ambiente, a massa de cladódio foi centrifugada em centrífuga FANEM modelo Excelsa®II 206-BL, por 15 minutos a 3600 rpm. Duas frações foram obtidas: solúvel e insolúvel. A fração solúvel foi novamente centrifugada a 15000 rpm sob refrigeração por 10 minutos em centrífuga SIGMA, modelo 2K15, para separação das partes sólidas ainda presentes.

A precipitação da fração solúvel e a liofilização das duas frações seguem o mesmo procedimento descrito no item 3.1.1.

A Figura 9 apresenta o fluxograma da separação das frações solúvel e insolúvel da mucilagem do cladódio.

Figura 9 – Fluxograma da separação das frações da mucilagem do cladódio.



## 3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS FRAÇÕES SOLÚVEL E INSOLÚVEL

As metodologias abaixo apresentam a caracterização para as frações solúvel e insolúvel liofilizadas do fruto e do cladódio.

### 3.2.1 Cromatografia Gasosa

As frações polissacarídicas foram analisadas quanto a sua composição monomérica por CG-DIC, conforme metodologia descrita por Maraschin *et al.* (2000).

Amostras de 20 mg de cada fração polissacarídica foram hidrolisadas com TFA 2M (Vetec) a 100°C por 6 horas para a separação dos monômeros constituintes do polímero. A reação foi bloqueada colocando a mistura em banho de gelo por 30 minutos, seguido de remoção do TFA em frasco aberto por aproximadamente 12 horas à temperatura ambiente.

A derivatização das amostras e dos padrões de monossacarídeos foi realizada com adição de 0,1 mL de piridina (Vetec) e 0,1 mL de BSTFA (Supelco), seguido de aquecimento a 70°C por 20 min. Os padrões de monossacarídeos (Sigma Aldrich) utilizados foram: D-manose, D-glucose, L-arabinose, D-galactose, L-fucose, D-xilose,  $\alpha$ -L-ramnose,

ácido-D-glucurônico, ácido-N-acetil neuramínico, N-acetil-D-glicosamina e N-acetil-D-galactosamina.

A análise foi realizada em cromatógrafo a gás Shimadzu, modelo GC 2014, equipado com coluna capilar Restek (30 m de comprimento x 0,25 mm de diâmetro interno x 0,25  $\mu\text{m}$  de espessura do filme). As condições cromatográficas foram: temperatura do detector: 260°C, temperatura do injetor: 250°C e pressão do gás de arraste ( $\text{N}_2$ ): 4  $\text{kgf.cm}^{-1}$ .

Alíquotas de 1  $\mu\text{L}$  de cada amostra e dos padrões de monossacarídeos foram injetadas em triplicata no cromatógrafo utilizando um programa de temperatura de 2 minutos a 140°C seguido de aquecimento a uma taxa de 10°C.  $\text{min}^{-1}$  até atingir 260°C. As condições de análises foram mantidas constantes durante todo o processo.

Os monossacarídeos de interesse foram identificados comparando o tempo de retenção dos padrões puros com o das amostras nas mesmas condições.

A análise foi realizada no Laboratório de Morfogênese e Bioquímica Vegetal do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Catarina.

### **3.2.2 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier**

Os espectros de infravermelho com Transformada de Fourier (FT-IR) das amostras foram obtidos em Espectrofotômetro de Infravermelho marca ABB, modelo FTLA 2000. Cada amostra foi misturada com KBr e macerada para formação da pastilha. A análise foi realizada na Central de Análises do Departamento de Química da Universidade Federal de Santa Catarina.

### **3.2.3 Análise Termogravimétrica**

A análise termogravimétrica (ATG) das amostras foi realizada em equipamento Shimadzu, modelo TGA-50. Os ensaios foram realizados em atmosfera controlada de  $\text{N}_2$  à taxa de 100  $\text{mL.min}^{-1}$  na faixa de temperatura de 15°C até 600°C, a uma taxa de aquecimento de 10°C.  $\text{min}^{-1}$ . A massa de amostra utilizada foi cerca de 10,50 mg. A análise foi realizada na Central de Análises do Departamento de Química da Universidade Federal de Santa Catarina.

### 3.3 COMPORTAMENTO DA FRAÇÃO SOLÚVEL EM SOLUÇÃO

As metodologias a seguir se referem às análises do comportamento da fração solúvel do fruto e do cladódio em solução.

#### 3.3.1 Medidas Reológicas

Soluções aquosas da fração solúvel do cladódio foram preparadas em concentrações variando de 0,1 a 0,5 mg.mL<sup>-1</sup>. Para a fração solúvel do fruto foi preparada uma solução tampão de pH 3, medida em pHmetro modelo DM-23, marca Digimed, e em seguida foram preparadas as soluções com concentrações variando de 0,1 a 0,5 mg.mL<sup>-1</sup>. O abaixamento do pH é importante devido à insolubilidade do produto. As medidas reológicas foram realizadas em viscosímetro capilar modelo Cannon-Fenske nº 75, marca SCHOTT, acoplado a um banho termostatizado com temperatura ajustada em 30°C. Os tempos de escoamento das soluções de mucilagem e da água pura foram medidos para obtenção da viscosidade relativa das soluções. As análises foram realizadas em triplicata.

#### 3.3.2 Ponto de Carga Zero

Para determinação do ponto de carga zero (pH<sub>pcz</sub>), 50 mL de solução de cloreto de sódio 0,01 mol.L<sup>-1</sup> foram transferidos a frascos erlenmeyers, aos quais foram adicionados ácido clorídrico ou hidróxido de sódio em quantidade suficiente para a obtenção de valores de pH entre 2 e 12, medidos em pHmetro modelo DM-23, marca Digimed. Em seguida, 0,15g da fração solúvel foram acrescentados em cada erlenmeyer e os mesmos agitados em shaker marca DIST, por 3 horas à temperatura ambiente. Após este tempo, o pH de cada frasco foi medido. A diferença entre o valor do pH inicial e final foi representada graficamente em função do pH inicial. O pH<sub>pcz</sub> é o ponto onde a curva intercepta o eixo das abscissas (FERRO-GARCIA *et al.*, 1998).

#### 3.3.3 Tensão Superficial

Foram preparadas soluções aquosas da fração solúvel em concentrações variando de 0,01 a 0,05 g.mL<sup>-1</sup>. A tensão superficial das amostras foi determinada usando um tensiômetro da marca Ramé-hart, modelo 250, pelo método da gota pendente, descrito por Pichot *et al.* (1997). Com uso de uma câmera digital, a forma da gota foi registrada em fun-

ção do tempo, e a tensão interfacial calculada pelo ajuste da equação de Laplace. As medidas foram realizadas no Laboratório de Controle de Processos do Departamento de Engenharia Química e de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina.



## CAPÍTULO 4: RESULTADOS E DISCUSSÃO

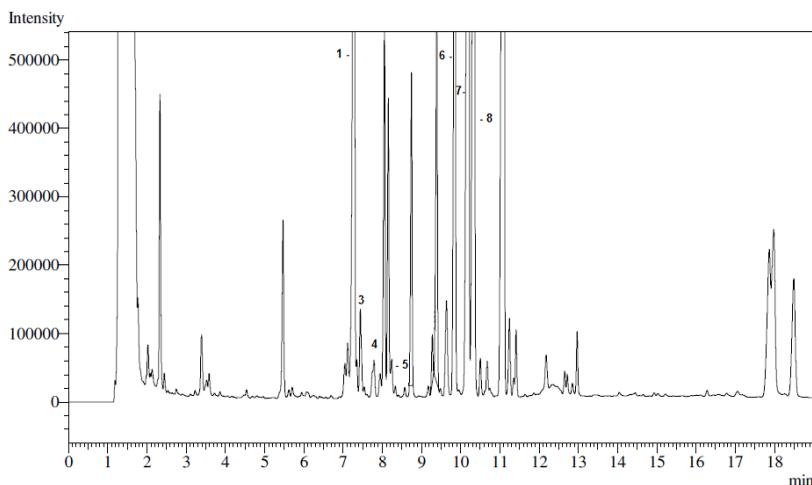
### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS FRAÇÕES SOLÚVEL E INSOLÚVEL

#### 4.1.1 Cromatografia Gasosa

A cromatografia gasosa é uma técnica de separação que permite determinar a composição dos monossacarídeos de misturas complexas com bastante eficiência.

As Figuras 10 a 13 apresentam os cromatogramas das frações solúvel e insolúvel do fruto e do cladódio.

Figura 10 – Cromatograma da fração solúvel do fruto.



De acordo com os cromatogramas e tempos de retenção de cada monossacarídeo, como mostram as Figuras 10 a 13, observa-se que 11 minutos foi o tempo suficiente para eluir todos os componentes de interesse na coluna cromatográfica.

Figura 11 – Cromatograma da fração insolúvel do fruto.

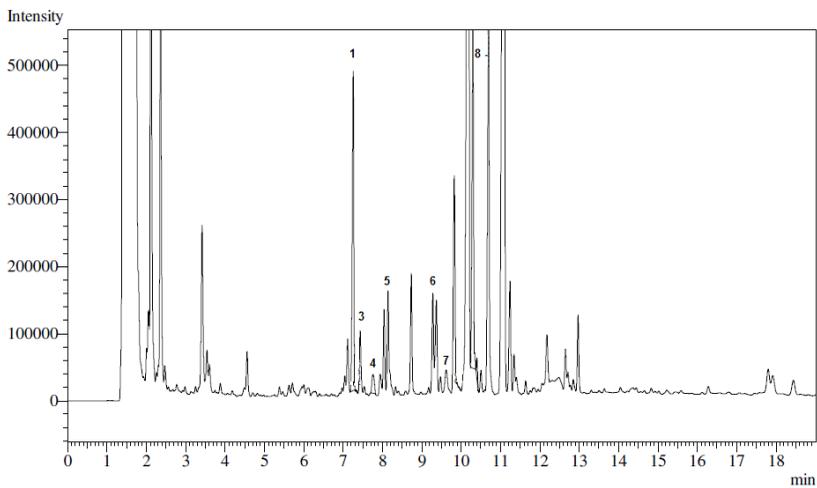


Figura 12 – Cromatograma da fração solúvel do cladódio.

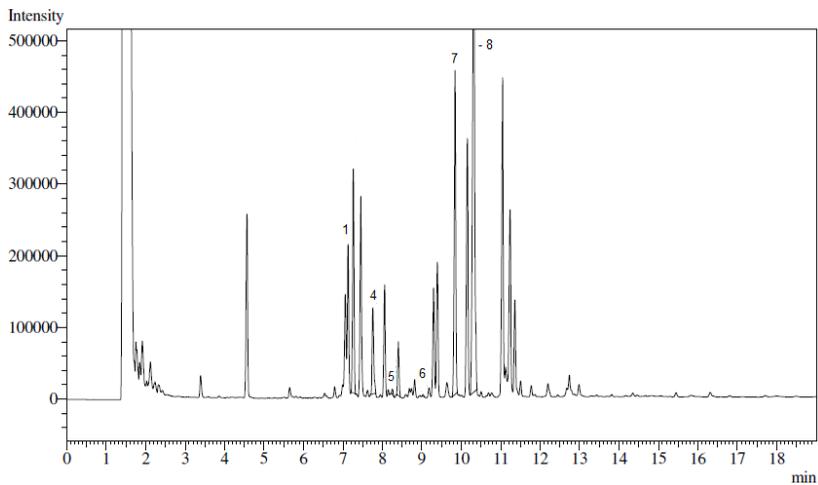
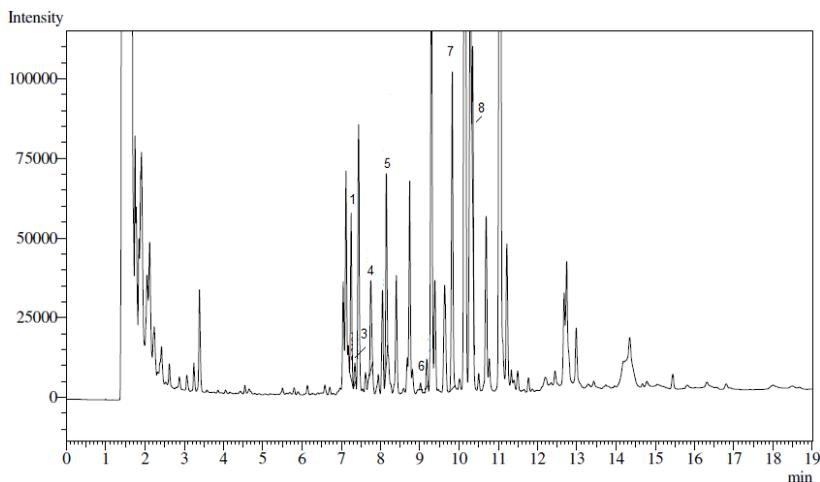


Figura 13 – Cromatograma da fração insolúvel do cladódio.



Na Tabela 2 está apresentada a porcentagem molar dos monossacarídeos de interesse identificados nas frações solúvel e insolúvel do fruto e cladódio, com seus picos equivalentes nos cromatogramas.

Tabela 2 – Composição monossacarídica das frações solúvel e insolúvel do fruto e cladódio.

Pico	Monossacarídeo	(% mol)			
		FS	FI	CS	CI
1	L-arabinose	30,65	40,45	18,76	18,16
2	Ácido-D-glucurônico	-	-	-	-
3	L-ramnose	0,15	0,16	-	1,76
4	L-fucose	1,35	3,65	5,43	10,53
5	D-xilose	0,41	0,07	0,30	19,82
6	D-manose	9,30	10,84	0,19	0,59
7	D-galactose	0,05	0,05	26,81	38,28
8	D-glucose	58,09	44,78	48,52	10,87
9	N-acetil-D-glicosamina	-	-	-	-
10	N-acetil-D-galactosamina	-	-	-	-
11	Ácido N-acetilneuramínico	-	-	-	-

Legenda: F, C: fruto e cladódio. S, I: solúvel e insolúvel.

A análise da cromatografia gás-líquido dos alditóis acetato mostra para a fração solúvel do fruto a presença de D-glucose, L-arabinose, D-

manose, L-fucose, D-xilose, L-ramnose e D-galactose em uma razão molar de 100:53:16:2,4:0,8:0,3:0,06. Para a fração insolúvel, D-glucose, L-arabinose, D-manose, L-fucose, L-ramnose, D-xilose e D-galactose aparecem na proporção molar de 100:90,3:24,2:8,2:0,4:0,16:0,12. Os resultados indicam que a glucose é o monossacarídeo mais abundante nas frações do fruto.

Para o cladódio, a fração solúvel é composta por D-glucose, D-galactose, L-arabinose, L-fucose, D-xilose e D-manose em uma proporção molar de 100:55,26:38,66:11,19:0,61:0,40. A fração insolúvel mostra a presença de D-galactose, D-xilose, L-arabinose, D-glucose, L-fucose, L-ramnose e D-manose em uma razão molar de 100:51,78:47,43:28,40:27,52:4,60:1,53. De acordo com estes resultados, observa-se que os principais monossacarídeos da fração solúvel e insolúvel são glucose e galactose.

Os resultados qualitativos são semelhantes àqueles obtidos por outros autores para a mucilagem do cladódio do gênero *Opuntia*.

*Opuntia monocantha*, uma espécie de cacto cultivada em regiões tropicais e subtropicais, foi estudada por Zhao *et al.* (2007) onde os autores relataram a presença de ramnose, glucose e arabinose na composição da mucilagem.

Na caracterização da mucilagem dos cladódios de *Opuntia ficus-indica* por Matsuhira *et al.* (2006), foram encontrados galactose, xilose, ramnose e arabinose. Trachtenberg e Mayer (1981), encontraram galactose, ramnose, xilose e ácido galacturônico.

O trabalho de McGarvie e Parolis (1981), mostra a caracterização da mucilagem de *Opuntia aurantiaca*, espécie encontrada na África do sul, onde os autores relatam a presença de galactose, arabinose, xilose, ramnose e ácido galacturônico.

Estes cinco monossacarídeos identificados na polpa do fruto e cladódio do *Cereus hidmannianus* (glucose, manose, galactose, frutose e xilose) são conhecidos como açúcares essenciais. Também chamados de gliconutrientes, os açúcares essenciais são necessários para uma boa saúde e bom funcionamento do organismo humano. Cientistas nutricionais e glicobiologistas identificaram mais de duzentos gliconutrientes encontrados na natureza, mas apenas oito são essenciais. Eles possibilitam a intercomunicação celular que capacita o corpo a preservar a saúde. Os outros três açúcares essenciais são: N-acetilgalactosamina, N-acetilglucosamina e ácido N-acetilneuramínico, os quais não foram encontrados nestas amostras. Cada um dos oito gliconutrientes possui propriedades especiais para o bom funcionamento da célula (MONDOA e KITEI, 2002).

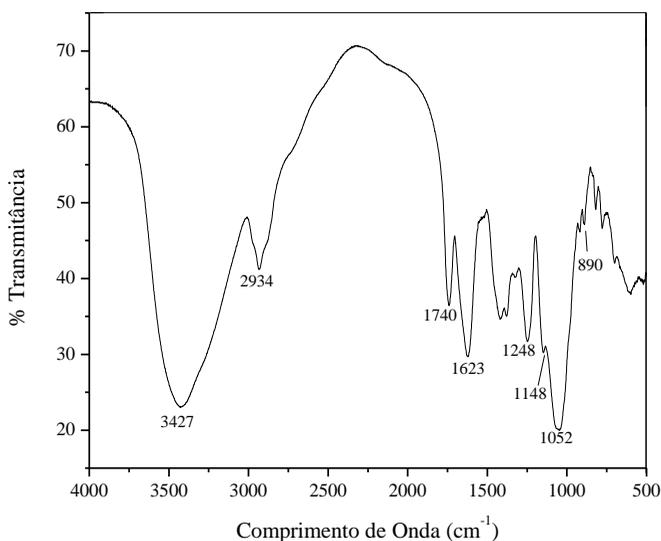
#### 4.1.2 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier

Os principais grupos funcionais das amostras foram identificados utilizando a Espectroscopia no Infravermelho, técnica que permite obter informações sobre a estrutura da molécula.

Os espectros de FT-IR das frações solúvel e insolúvel do fruto e cladódio estão apresentados nas Figuras 14 a 17.

As Tabelas 3 e 4 apresentam os principais grupos funcionais identificados das frações solúvel e insolúvel do fruto e cladódio.

Figura 14 – Espectro de FT-IR da fração solúvel do fruto.



Os espectros de todas as amostras, Figuras 14 a 17, apresentam uma banda forte e larga entre 3450 e 3300  $\text{cm}^{-1}$  que pode ser atribuída ao estiramento vibracional do grupo O-H de água e álcoois (PAVIA *et al.*, 2008).

Nas Figuras 14 e 15, para as frações solúvel e insolúvel do fruto, bandas de alongamento de C-O aparecem nos espectros entre 1260 e 1000  $\text{cm}^{-1}$  (PAVIA *et al.*, 2008). Os picos próximos a 1250  $\text{cm}^{-1}$  representam o estiramento C-O em polissacarídeos (CAI *et al.*, 2008).

Figura 15 – Espectro de FT-IR da fração insolúvel do fruto.

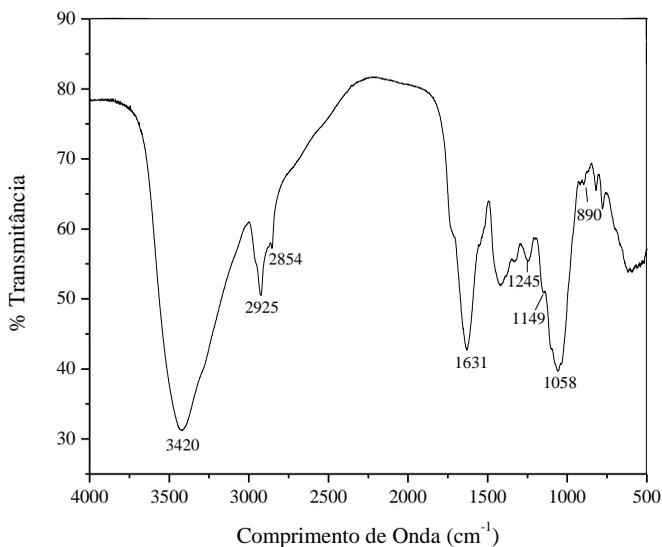


Tabela 3 – Grupos funcionais da fração solúvel e insolúvel do fruto.

Amostra	Grupo Funcional	Comprimento de Onda (cm <sup>-1</sup> )
FS	O-H	3427
	C-H	2934
	C=O	1740
		1623
	C-O	1248
		1148
1052		
FI	O-H	3420
	C-H	2925
		2854
	C=O	1631
	C-O	1245
		1149
1058		

Legenda: F: fruto. S, I: solúvel e insolúvel.

Figura 16 – Espectro de FT-IR da fração solúvel do cladódio.

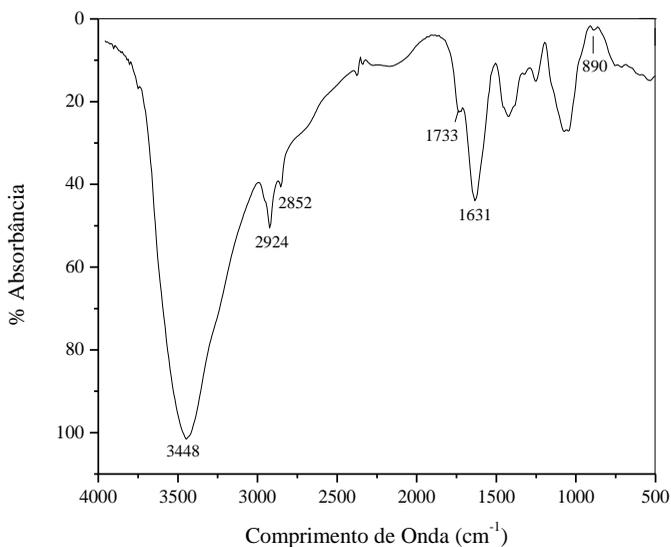


Figura 17 – Espectro de FT-IR da fração insolúvel do cladódio.

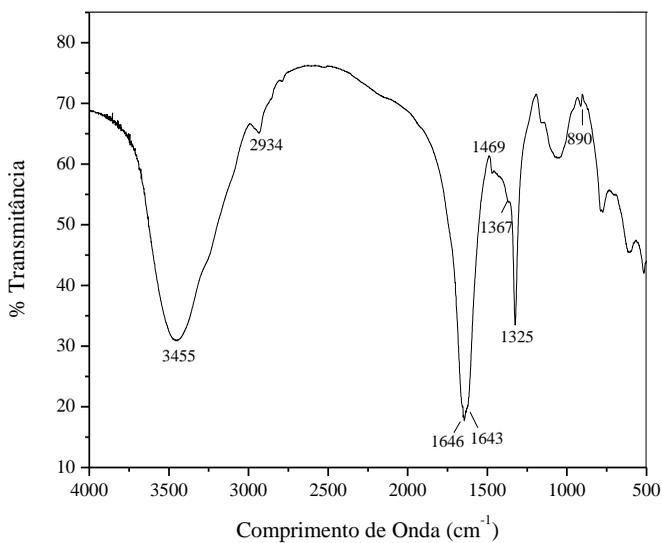


Tabela 4 – Grupos funcionais da fração solúvel e insolúvel do cladódio.

Amostra	Grupo Funcional	Comprimento de Onda (cm <sup>-1</sup> )
CS	O-H	3448
	C-H	2924
		2852
	C=O	1733
1631		
CI	O-H	3455
	C-H	2934
		1469
		1367
	C=O	1643
1646		
C-N	1325	

Legenda: C: cladódio. S, I: solúvel e insolúvel.

Em todos os espectros, a absorção característica em 890 cm<sup>-1</sup> indica a  $\alpha$ -configuração para as unidades dos açúcares. Não houve absorção em 897 cm<sup>-1</sup> para a  $\beta$ -configuração (SILVERSTEIN e WEBSTER, 2000).

Também são encontradas duas bandas fracas de alongamento de C-H entre 2900-2800 cm<sup>-1</sup> para a fração insolúvel do fruto (Figura 15) e fração solúvel do cladódio (Figura 16); e uma banda fraca em 2934 cm<sup>-1</sup> para a fração solúvel do fruto (Figura 14) e insolúvel do cladódio (Figura 17). Esta faixa de absorção pode ser atribuída às vibrações simétricas e assimétricas do grupamento metila e este proveniente das unidades dos monossacarídeos (TAVARES *et al.*, 2011).

Ainda na Figura 17, as bandas de C-H aparecem como vibrações do tipo “dobramento” aproximadamente em 1465 cm<sup>-1</sup>, como característica do grupo metileno (CH<sub>2</sub>), e próximo de 1375 cm<sup>-1</sup>, característica do grupamento metil (CH<sub>3</sub>). Estes dois grupamentos podem ser características das unidades dos açúcares (PAVIA *et al.*, 2008).

A banda C=O aparece na faixa de 1740-1725 cm<sup>-1</sup> na fração solúvel do fruto e cladódio (Figuras 14 e 16), característica de aldeídos alifáticos (PAVIA *et al.*, 2008).

Para a fração solúvel e insolúvel do fruto, o estiramento do grupo carbonila ocorre aproximadamente na faixa de 1680-1630 cm<sup>-1</sup>, como pode ser observado nas Figuras 14 e 15. Nos espectros das frações solúvel e insolúvel do cladódio (Figuras 16 e 17), a banda C=O também

ocorre nesta faixa de absorção (PAVIA *et al.*, 2008). Essa absorção característica pode estar atribuída aos compostos aromáticos, e estes, relacionados às proteínas (TAVARES *et al.*, 2011).

O espectro da fração insolúvel do cladódio apresenta ainda uma banda entre 1300 e 1000  $\text{cm}^{-1}$  atribuída às vibrações de alongamento do anel de piranose, conforme Figura 17 (CAI *et al.*, 2008). A absorção forte de deformação axial de C-N em 1325  $\text{cm}^{-1}$  é uma característica das aminas aromáticas, que estão diretamente ligadas às proteínas (SILVERSTEIN e WEBSTER, 2000).

Comparando-se os espectros das frações solúvel e insolúvel do fruto e das frações solúvel e insolúvel do cladódio, verificam-se praticamente as mesmas bandas de absorção, indicando grande similaridade entre os grupos funcionais presentes nas estruturas da mucilagem do fruto e cladódio.

Os principais grupos funcionais identificados para todas as frações da mucilagem do fruto e cladódio são semelhantes àqueles encontrados para a mucilagem da *Opuntia milpa alta*, como mostra o trabalho de Cai *et al.* (2008).

#### 4.1.3 Análise Termogravimétrica

A análise termogravimétrica (TGA) fornece informações a respeito da perda de massa do material (%) em função da temperatura, onde a curva da DTG representa a primeira derivada com o tempo, facilitando a interpretação do gráfico. É um método simples para estudar a decomposição e a estabilidade térmica dos polímeros (ZOHURIAAN e SHOKROLAHI, 2004).

As Figuras 18 e 19 representam as curvas de TG e DTG das frações solúvel e insolúvel do fruto; e as Figuras 20 e 21 representam as curvas de TG e DTG das frações solúvel e insolúvel do cladódio.

A porcentagem da perda de massa das frações do fruto e cladódio em função da temperatura pode ser visualizada na Tabela 5.

Figura 18 – Curvas da TGA da fração solúvel do fruto.

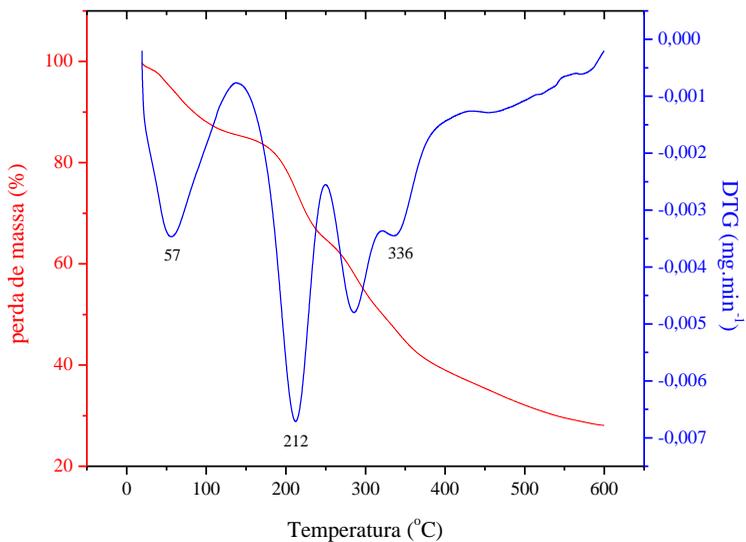


Figura 19 – Curvas da TGA da fração insolúvel do fruto.

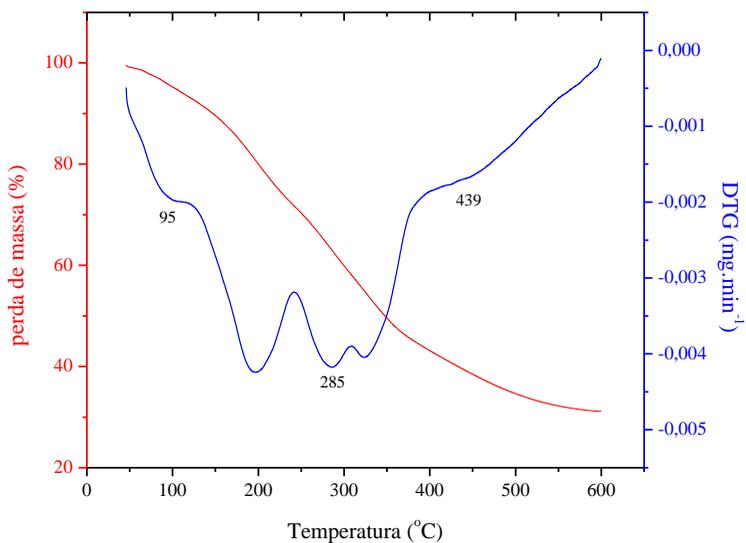


Figura 20 – Curvas da TGA da fração solúvel do cladódio.

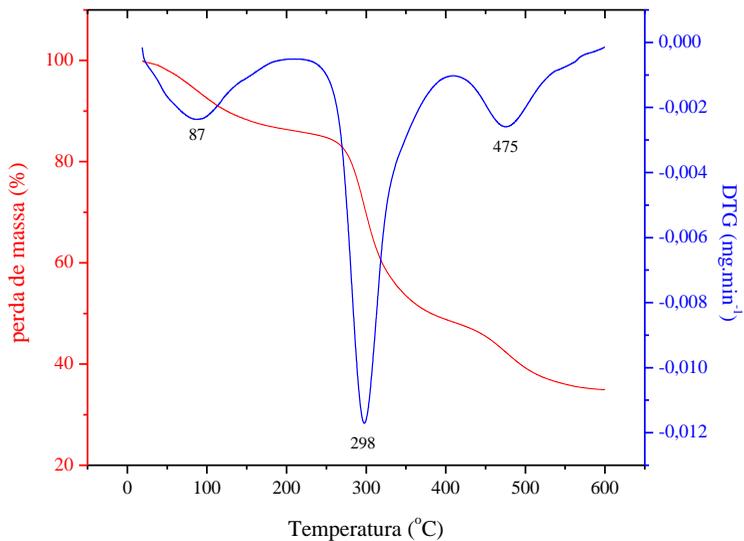


Figura 21 – Curvas da TGA da fração insolúvel do cladódio.

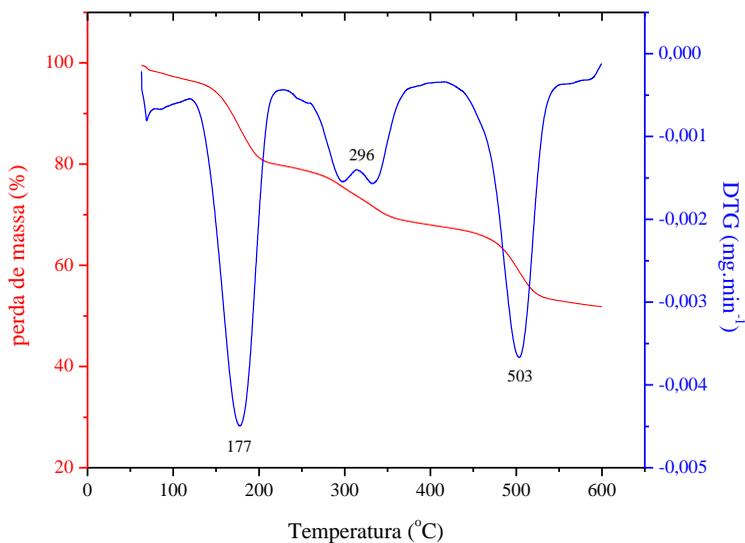


Tabela 5 – Perda de massa das amostras em função da temperatura.

Amostra	Faixa de T (°C)	T <sub>máx</sub> (°C)	Perda de massa (%)
FS	0 – 140	57	13,80
	140 – 250	212	21,10
	250 – 600	336	36,44
FI	51 – 150	95	9,49
	150 – 300	285	30,24
	300 – 600	439	28,12
CS	23 – 212	87	13,63
	212 – 404	298	37,37
	404 – 600	475	13,75
CI	64 – 226	177	19,80
	225 – 408	296	12,0
	408 – 600	503	15,90

Legenda: F, C: fruto e cladódio; S, I: solúvel e insolúvel, respectivamente.

Os resultados apresentados nas Figuras 18 a 21 mostram que a primeira perda de massa registrada para todas as amostras ocorre entre 0°C e 150°C, e pode ser atribuída à evaporação de água contida no polímero (SUN *et al.*, 2011). Nesta primeira etapa de decomposição térmica, estas perdas de massa são aproximadamente 14% e 10% para as frações solúvel e insolúvel do fruto; 14% e 20% para as frações solúvel e insolúvel do cladódio.

As perdas de massa subsequentes, em todas as frações, podem estar atribuídas à decomposição inicial dos polissacarídeos (ZOHURIAAN e SHOKROLAHI, 2004).

Polissacarídeos geralmente possuem uma forte afinidade com a água, e no estado sólido estas macromoléculas podem ter estruturas desordenadas que são facilmente hidratadas (KITUR *et al.*, 2002).

Nas Figuras 18 e 19, correspondentes às curvas das frações solúvel e insolúvel do fruto, a segunda perda de massa inicia em aproximadamente 150°C e atinge a temperatura máxima de decomposição em 212°C e 285°C respectivamente, na qual 20% e 30% da massa inicial da fração solúvel e insolúvel são perdidas.

De acordo com os resultados obtidos na Tabela 5, até a temperatura final de 600°C, a fração solúvel do fruto apresentou uma perda de massa de 71% e a fração insolúvel, 68%.

Para as frações solúvel e insolúvel do cladódio, Figuras 20 e 21, a temperatura máxima de decomposição para a segunda perda de massa

gira em torno de 297°C. Até esta temperatura, as amostras perderam aproximadamente 51% e 32% de massa, respectivamente.

Observa-se que para todas as curvas da TG apresentadas nos gráficos acima, a decomposição das amostras até 600°C não foi completa, e caso a temperatura fosse aumentada, ocorreria ainda uma maior decomposição.

Como a análise termogravimétrica nos fornece informações a respeito da estabilidade do material, é possível retirar estas informações das curvas da TG. Assim, as frações solúvel e insolúvel do fruto apresentam boa estabilidade térmica até a temperatura aproximada de 140-150°C, que é quando se inicia a decomposição do material. Já as frações solúvel e insolúvel do cladódio apresentam uma estabilidade maior em comparação com as frações anteriores, pois a decomposição térmica tem início em 200-220°C.

A degradação mais lenta das frações insolúveis, quando comparadas às frações solúveis, pode estar atribuída à presença de fibras insolúveis em sua estrutura, que aumentam sua estabilidade térmica.

De acordo com dados da literatura, a temperatura de decomposição da goma arábica tem início em aproximadamente 274°C, e da goma xantana em 266°C. Assim, pode-se dizer que as frações solúvel e insolúvel do fruto e cladódio possuem estabilidade menor quando comparadas com estas gomas (ZOHURIAAN e SHOKROLAHI, 2004).

## 4.2 COMPORTAMENTO DA FRAÇÃO SOLÚVEL EM SOLUÇÃO

### 4.2.1 Medidas Reológicas

As Figuras 22 e 23 apresentam os gráficos de Huggins para a fração solúvel do fruto e do cladódio em solução, respectivamente.

As Figuras 24 e 25 apresentam os gráficos de Kraemer para a fração solúvel do fruto e cladódio em solução, respectivamente.

A Tabela 6 mostra os parâmetros obtidos das equações de Huggins e Kraemer para o comportamento da fração solúvel do fruto e do cladódio em solução. As viscosidades intrínsecas são representadas pelos coeficientes lineares de cada reta e a concentração crítica de overlap foi calculada pela Equação 4.

Figura 22 – Gráfico de Huggins da fração solúvel do fruto.

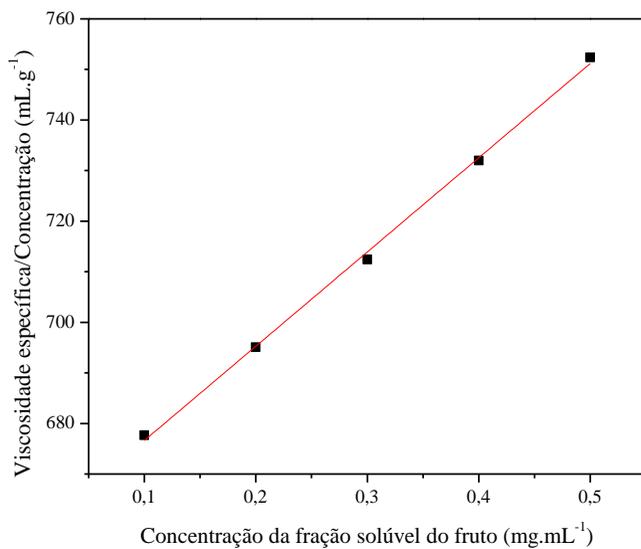


Figura 23 – Gráfico de Huggins da fração solúvel do cladódio.

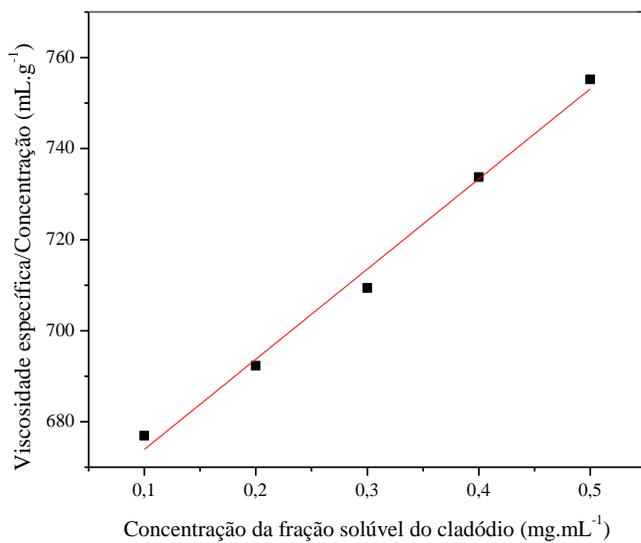


Figura 24 – Gráfico de Kraemer da fração solúvel do fruto.

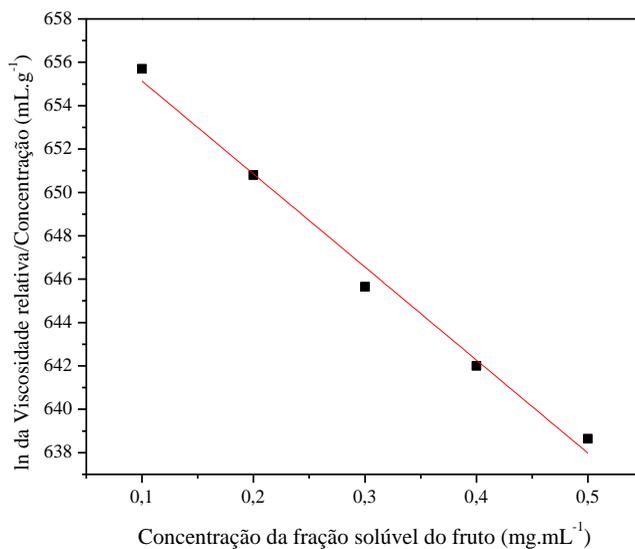


Figura 25 – Gráfico de Kraemer da fração solúvel do cladódio.

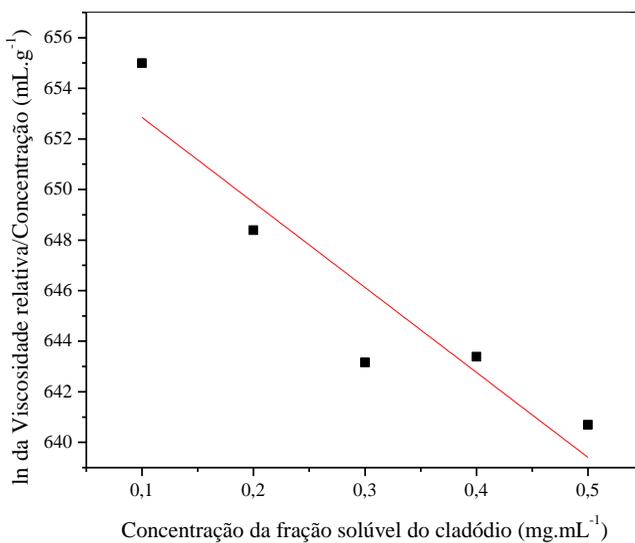


Tabela 6 – Parâmetros das equações de Huggins e Kraemer para as soluções da fração solúvel do fruto e cladódio.

Fração solúvel	Fruto		Cladódio	
	Huggins	Kraemer	Huggins	Kraemer
Equação				
Visc. intrínseca (mL.g <sup>-1</sup> )	657,99	659,43	654,11	656,21
Constante	0,43	-0,0001	0,46	-0,0001
C* (g.L <sup>-1</sup> )	1,52	1,52	1,53	1,52

As soluções da fração solúvel do fruto em pH mais ácido se deve ao fato de que a viscosidade da solução depende do pH, da concentração do meio de suspensão e do grau de polimerização (BRASIL *et al.*, 1995). De acordo com Piletti (2011), em pH mais ácido, a solubilidade da mucilagem em solução aumenta.

No trabalho realizado por Medina-Torres *et al.* (2000) para a caracterização da mucilagem da *Opuntia ficus-indica*, os autores observaram que uma diminuição do pH das soluções de mucilagem provoca uma diminuição nos valores de viscosidade, ou seja, na região ácida a viscosidade é menor quando comparado com a região alcalina.

De acordo com os gráficos apresentados, observa-se uma relação linear para todas as amostras analisadas, o que indica que as soluções diluídas da fração solúvel do fruto e cladódio possuem um comportamento newtoniano.

Os altos valores para as viscosidades intrínsecas indicam boa afinidade entre a fração solúvel da mucilagem e o solvente, isto é, as cadeias poliméricas encontram-se expandidas no meio líquido.

O valor obtido da constante de Huggins para a fração solúvel do fruto (0,43) e do cladódio (0,46) indica que a água é um bom solvente para a fração solúvel, nas concentrações estudadas. Esta constante, que fornece informações sobre as interações entre o solvente e polímero, quando possui valores inferiores a 0,5, indica que o solvente utilizado é adequado, ou seja, a macromolécula está mais solvatada (MELLO *et al.*, 2006). A constante de Kraemer (-0,0001) apresenta um valor negativo para as duas amostras, isso significa que há boa solvatação da cadeia polimérica, ou seja, há maior interação polímero-solvente (MELLO *et al.*, 2006).

Os valores obtidos para a concentração crítica de overlap indicam que acima desta concentração ocorre uma mudança nas propriedades de escoamento devido à formação de entrelaçamentos intermoleculares. Em concentrações mais baixas do que a concentração crítica de overlap, as

cadeias estão livres para se moverem individualmente, ou seja, as soluções estão em regime diluído ou newtoniano (MELLO *et al.*, 2006).

A literatura relata que os valores das concentrações críticas de overlap variam muito entre os biopolímeros. Morris *et al.* (1981) observaram os valores de 0,22 g/L para goma guar, 1 g/L para o alginato e 8 g/L para a dextrana.

Na caracterização da mucilagem de *Opuntia ficus-indica*, Majdoub *et al.* (2001) encontraram o valor de 840 mL.g<sup>-1</sup> para a viscosidade intrínseca. Já no trabalho realizado por Goycoolea e Cárdenas (2003), a viscosidade intrínseca aumentou para 1050 mL.g<sup>-1</sup> para a mesma mucilagem. Estes valores diferem dos aqui apresentados para a viscosidade intrínseca da fração solúvel da mucilagem de *Cereus hildmaniannus*. Uma possível explicação para estes resultados é que a fração solúvel do *Cereus hildmaniannus* possui uma cadeia mais ramificada quando comparada à cadeia da mucilagem da *Opuntia ficus-indica*. Cadeias mais lineares implicam em valores maiores de viscosidade intrínseca devido ao aumento nas interações entre as cadeias poliméricas (WANG e CUI, 2005).

#### 4.2.2 Ponto de Carga Zero

O pH do ponto de carga zero ( $\text{pH}_{\text{pcz}}$ ) é definido como o pH da solução no qual a superfície da fração solúvel da mucilagem possui carga elétrica neutra (GUILARDUCI *et al.*, 2006).

As Figuras 26 e 27 apresentam os gráficos da determinação do ponto de carga zero das frações solúvel do fruto e do cladódio, respectivamente.

A distribuição de cargas na superfície do material de acordo com o pH da solução pode ocorrer em três condições diferentes. Quando o  $\text{pH}_{\text{pcz}}$  for maior que o pH, existem mais cargas positivas na superfície do que negativas, ocorrendo uma atração preferencialmente de ânions. Ao contrário, quando o pH for maior que o  $\text{pH}_{\text{pcz}}$ , há atração preferencial de cátions e existem mais cargas negativas na superfície do que positivas.

A última condição ocorre quando o  $\text{pH} = \text{pH}_{\text{pcz}}$ , ou seja, as cargas positivas e negativas são iguais, resultando em carga zero sobre a superfície (FERNANDES, 2008).

Figura 26 – Ponto de carga zero da fração solúvel do fruto.

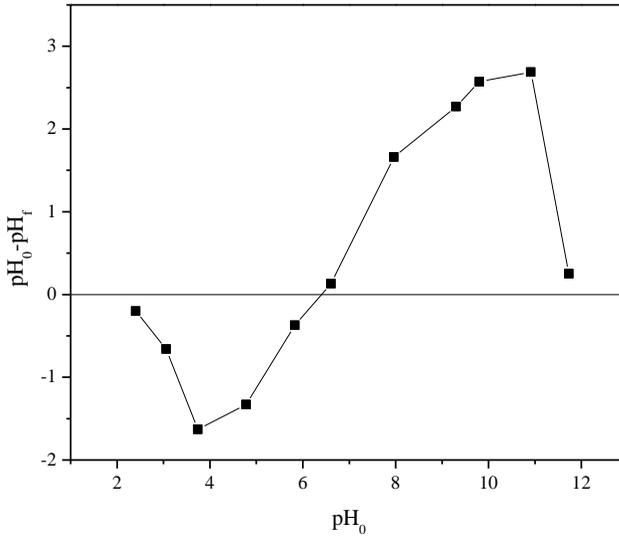
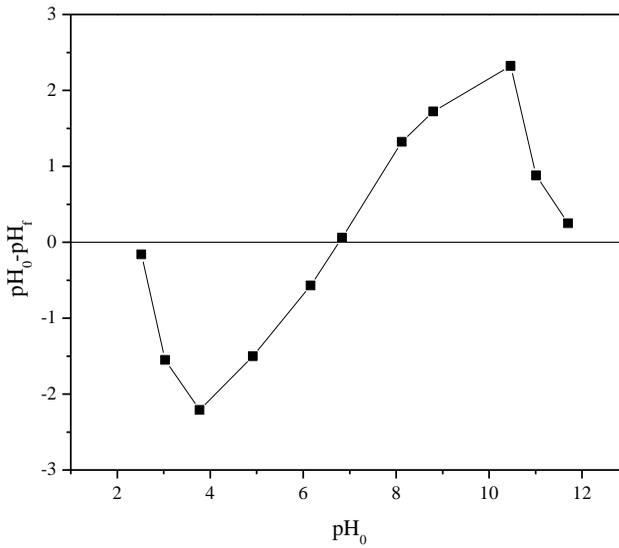


Figura 27 – Ponto de carga zero da fração solúvel do cladódio.



De acordo com os resultados experimentais, a fração solúvel da mucilagem do fruto apresenta um  $pH_{pez}$  de  $6,40 \pm 0,06$ , como mostra a Figura 24. Para a fração solúvel da mucilagem do cladódio, Figura 25, o valor do  $pH_{pez}$  é igual a  $6,80 \pm 0,08$ .

Estes valores de pH possibilitam o uso da fração solúvel da mucilagem como floculante natural para purificação de água. Desta forma, juntamente com o sulfato de alumínio podem atuar para a remoção de metais (ferro e alumínio), como foi relatado por Sáenz *et al.* (2004) para a mucilagem da *Opuntia spp.*

Assim, em uma solução da fração solúvel do fruto com pH menor que 6,40, a superfície do polímero atrairá preferencialmente ânions, por estar carregada positivamente. Ao contrário, em pH acima de 6,40, a superfície estará carregada negativamente, atraindo principalmente cátions. O mesmo ocorre com uma solução da fração solúvel do cladódio, em pH abaixo de 6,80, a superfície do polímero atrairá ânions; e em pH acima de 6,80, a superfície atrairá preferencialmente cátions.

### 4.2.3 Tensão Superficial

A Tabela 7 mostra os valores da tensão superficial para a fração solúvel do fruto e do cladódio.

Tabela 7 – Tensão superficial para a fração solúvel do fruto e cladódio.

Concentração (g.mL <sup>-1</sup> )	Tensão Superficial (mN.m <sup>-1</sup> )	
	Fruto	Cladódio
0,01	68,52±0,11	72,49±0,05
0,02	61,86±0,11	67,17±0,16
0,03	59,90±0,03	65,28±0,21
0,04	59,34±0,02	59,51±0,18
0,05	57,29±0,06	54,51±0,13

De acordo com os resultados experimentais, um aumento da concentração da fração solúvel provoca um decréscimo da tensão superficial das soluções. Isto ocorre devido ao fato de que as soluções de gomas possuem a capacidade de reter água, provocando um aumento da viscosidade da solução, e como consequência, diminuindo a tensão superficial da água (MUÑOZ *et al.*, 2007). Esta capacidade de reter água está associada aos grupos hidrofílicos presentes na estrutura da molécula do polissacarídeo (GARTI *et al.*, 1999).

A fração solúvel do fruto diminui a tensão superficial da água ( $72 \text{ mN.m}^{-1}$ ,  $25^\circ\text{C}$ ) (DALTIM, 2011) a valores entre  $68,5$  e  $57,3 \text{ mN.m}^{-1}$ , para as concentrações estudadas; para a fração solúvel do cladódio, estes valores ficam entre  $72,0$  e  $55,0 \text{ mN.m}^{-1}$ .

Estes valores da tensão superficial da fração solúvel da mucilagem são próximos daqueles relatados na literatura para outras gomas ( $65\text{-}45 \text{ mN.m}^{-1}$ ), como por exemplo a goma arábica (GARTI *et al.*, 1999).

A goma guar, classificada como estabilizante e espessante, é capaz de reduzir a tensão superficial da água para  $60 \text{ mN.m}^{-1}$  utilizando concentrações de até  $0,005 \text{ g.mL}^{-1}$ . Já a goma tragacante reduz a tensão superficial para  $53 \text{ mN.m}^{-1}$  em concentrações de goma menores que  $0,0025 \text{ g.mL}^{-1}$  (MOREIRA *et al.*, 2012).

Comparando os resultados da tensão superficial da fração solúvel da mucilagem com os das outras gomas, em termos de concentração, observa-se que é necessário uma maior concentração da mucilagem para reduzir esta tensão.

A capacidade de alterar as propriedades superficiais de um líquido, no presente caso, reduzir a tensão superficial, é característica de um tensoativo. Os tensoativos, também conhecidos como surfactantes, possuem diversas aplicações industriais, tais como detergência, emulsificação, lubrificação e capacidade espumante. A maior utilização dos surfactantes se concentra na indústria de produtos de limpeza (sabões e detergentes), na indústria de cosméticos e produtos de higiene (NITSCHKE e PASTORE, 2002).

## CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES

---

Os monossacarídeos identificados para a mucilagem do fruto e cladódio, glucose, manose, galactose, frutose e xilose, são qualitativamente semelhantes àqueles obtidos para a mucilagem do cladódio do gênero *Opuntia*. Presentes na mucilagem estudada, estes monossacarídeos são conhecidos como açúcares essenciais ou gliconutrientes, pois são essenciais para a saúde e bom funcionamento do organismo.

As análises de infravermelho mostraram para os espectros uma absorção característica em  $890\text{ cm}^{-1}$ , indicando a  $\alpha$ -configuração para as unidades dos açúcares e um estiramento do grupo carbonila, que pode ser atribuído aos compostos aromáticos.

De acordo com as curvas termogravimétricas, as frações solúvel e insolúvel do fruto apresentaram boa estabilidade térmica até cerca de  $140\text{-}150^\circ\text{C}$ . As frações solúvel e insolúvel do cladódio apresentaram uma estabilidade maior, pois a decomposição térmica do material inicia em aproximadamente  $200\text{-}220^\circ\text{C}$ .

As medidas da viscosidade intrínseca indicaram uma boa afinidade entre o polímero e solvente, e como consequência, as cadeias moleculares encontram-se expandidas no meio líquido. Dos valores encontrados, pode-se dizer que a mucilagem do *Cereus hildmaniannus* possui uma cadeia polimérica ramificada, tendo em vista que cadeias mais lineares são associadas a valores maiores de viscosidade intrínseca devido ao aumento nas interações entre as cadeias poliméricas, como citado na literatura.

Para a fração solúvel do fruto e do cladódio, a constante de Huggins indicou que a água é o solvente adequado para as duas frações naquelas concentrações. Os resultados da constante de Kraemer mostram que existe boa solvatação da cadeia polimérica pelo solvente, ou seja, há maior interação entre o polímero e a água.

A concentração crítica de overlap varia muito entre os polímeros naturais. Os valores encontrados para a fração solúvel do fruto e cladódio variaram entre 1,52 e 1,53. Abaixo desta concentração, a probabilidade de existir interação entre as macromoléculas em solução é muito baixa. Por sua vez, acima desta concentração ocorrerá uma interpenetração das cadeias poliméricas.

Em solução aquosa, a fração solúvel da mucilagem do fruto e cladódio possui baixa solubilidade e ambas apresentaram  $\text{pH}_{\text{pcz}}$  próximo a 7,0. Esta característica torna a mucilagem um potencial para ser utilizado como agente floculante.

A fração solúvel do fruto e cladódio diminuiu a tensão superficial da água até aproximadamente  $55,0 \text{ mN.m}^{-1}$ , ficando próximo dos valores encontrados na literatura para outras gomas; porém, é necessário maiores concentrações da fração solúvel da mucilagem para reduzir esta tensão, quando comparadas com as concentrações utilizadas das outras gomas.

Os resultados aqui apresentados para a caracterização da mucilagem do fruto e do cladódio do *Cereus hildmaniannus* K. Schum mostram o potencial desta cactácea como um hidrocoloide para ser utilizado em diversas indústrias. Porém, ainda é necessário um estudo detalhado das aplicações deste polissacarídeo natural, como por exemplo, a formação de filmes comestíveis, o uso da mucilagem no desenvolvimento de novos produtos (filmes comestíveis) ou também sua adição à hidrocoloides já utilizados.

---

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

---

AGRA, M. F. **Plantas da medicina popular dos Cariris Velhos, Paraíba, Brasil: espécies mais comuns.** Editora União, 1996.

ALLER, R.; DE LUIS, D. A.; IZAOLA, O.; LA CALLE, F.; DEL OLMO, L.; FERNANDEZ, L.; ARRANZ, T.; HERNANDEZ, J. M. Effect of soluble fiber intake in lipid and glucose levels in healthy subjects: a randomized clinical trial. **Diabetes Research and Clinical Practice**, v. 65, n. 1, p. 7-11, 2004.

ALVAREZ, M.; COSTA, S. C.; UTUMI, H.; HUBER, A.; BECK, R.; FONTANA, J. D. The anionic glycan from the Cactus *Cereus peruvianus*. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 34, n. 1, p. 283-295, 1992.

ALVES, M. A.; SOUZA, A. C. M.; ROJAS, G. G.; GUERRA, N. B. Fruto de Palma (*Opuntia ficus-indica* (L) MILLER, Cactaceae): Morfologia, composição química, fisiologia, índices de colheita e fisiologia pós-colheita. 2008. Disponível em: < <http://www.redalyc.org> >. Acesso em: 12 de Julho de 2012.

ATALAH, E.; PAK, N.; CASTILLO, C.; UAUY, R. Aumente el consumo de verduras, frutas y legumbres. **Guías de alimentación para la población chilena.** Santiago, p. 79-89, 1997.

BARBERA, G.; INGLESE, P.; BARRIOS, E. Agroecología, cultivos y usos del nopal. **Estudio FAO producción y protección vegetal**, 1999.

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

BHATTACHARYA, S. N. **Rheology: fundamentals and measurements.** Rheology and Materials Processing Centre, Royal Melbourne Institute of Technology, 1997.

BIRD, R. B.; STEWART, W. E.; LIGHTFOOT, E. N. **Transport Phenomena.** New York: John Wiley: 1960.

BÖHM, H. “*Opuntia dillenii*”– An Interesting and Promising Cactaceae Taxon. **Physiology**, v. 10, p. 148-170, 2008.

BOURNE, M. C. **Food texture and viscosity: concept and measurement**. Academic Press, 2002.

BRANCO, N. B. C. **Mucilagem do Cladódio de *Cereus hidmannianus* K. Schum: Caracterização Física, Química e Reológica**. 2011. (Mestrado). Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

BRASIL, I. M.; MAIA, G. A.; FIGUEIREDO, R. W. Mudanças físico-químicas durante a extração e clarificação de suco de goiaba (*Psidium guajava* L. var. pomifera). v. 30, n. 8, p. 1097-1106, 1995.

BRITTON, N. L.; ROSE, J. N. **The Cactaceae: descriptions and illustrations of plants of the cactus family**. Dover publications, 1963.

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

BUDEL, J. M.; DUARTE, M. R.; SANTOS, C. A. M. Caracteres morfo-anatômicos de *Baccharis gaudichaudiana* DC., Asteraceae. **Acta Farmacéutica Bonaerense**, v. 22, n. 4, p. 313-320, 2003.

CAI, W.; GU, X.; TANG, J. Extraction, purification, and characterization of the polysaccharides from *Opuntia milpa alta*. **Carbohydrate Polymers**, v. 71, n. 3, p. 403-410, 2008.

CÁRDENAS, A.; ARGUELLES, W. M.; GOYCOOLEA, F. On the possible rol of *Opuntia ficus-indica* Mucilage in Lime Mortar Perfomance in the Protection of Historical Buildings. **Journal of the Professional Association for Catus Development**, v. 3, 1998.

CÁRDENAS, A.; HIGUERA-CIAPARA, I.; GOYCOOLEA, F. Rheology and aggregation of cactus (*Opuntia ficus-indica*) mucilage in solution. **Journal of the Professional Association for Catus Development**, v. 2, p. 152-159, 1997.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. Editora da UNICAMP, 2003.

DALTIN, D. **Tensoativos: química, propriedades e aplicações**. São Paulo: Blucher, 2011.

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

EL-SAMAHY, S. K.; ABD EL-HADY, E. A.; HABIBA, R. A.; MOUSSA, T. E. Chemical and rheological characteristics of orange-yellow cactus pear pulp from Egypt. **Journal of the Professional Association for Cactus Development**, v. 8, p. 39-51, 2006.

EL-SAMAHY, S. K.; YOUSSEF, K. M.; MOUSSA–AYOUB, T. E. Producing ice cream with concentrated cactus pear pulp: A preliminary study. **Journal of the Professional Association for Cactus Development**, v. 11, p. 1-12, 2009.

EL KOSSORI, R. L.; VILLAUME, C.; EL BOUSTANI, E.; SAUVAIRE, Y.; MÉJEAN, L. Composition of pulp, skin and seeds of prickly pears fruit (*Opuntia ficus-indica* sp.). **Plant Foods for Human Nutrition** v. 52, n. 3, p. 263-270, 1998.

FERNANDES, F. L. **Carvão de endocarpo de coco da baía ativado quimicamente com  $ZnCl_2$  e fisicamente com vapor d'água: produção, caracterização, modificações químicas e aplicação na adsorção de íon cloreto**. 2008. Tese (Doutorado). Departamento de Química, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

FERRO-GARCIA, M. A.; RIVERA-UTRILLA, J.; BAUTISTA-TOLEDO, I.; MORENO-CASTILLA, C. Adsorption of humic substances on activated carbon from aqueous solutions and their effect on the removal of Cr (III) ions. **Langmuir**, v. 14, n. 7, p. 1880-1886, 1998.

GALATI, E. M.; MONFORTE, M. T.; TRIPODO, M. M.; D'AQUINO, A.; MONDELLO, M. R. Antiulcer activity of *Opuntia ficus-indica* (L.)

Mill.(Cactaceae): ultrastructural study. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 76, n. 1, p. 1-9, 2001.

GARDINER, D.; FELKER, P.; CARR, T. Cactus extract increases water infiltration rates in two soils. **Communications in Soil Science & Plant Analysis**, v. 30, n. 11-12, p. 1707-1712, 1999.

GARTI, N.; SLAVIN, Y.; ASERIN, A. Surface and emulsification properties of a new gum extracted from *Portulaca oleoracea*. **Food Hydrocolloids**, v. 13, n. 2, p. 145-155, 1999.

GERESH, S.; DAWADI, R. P.; ARAD, S. Chemical modifications of biopolymers: quaternization of the extracellular polysaccharide of the red microalga *Porphyridium sp.* **Carbohydrate Polymers**, v. 43, n. 1, p. 75-80, 2000.

GIEHL, E. L. H. Flora Digital do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 2012. Disponível em: < <http://ufrgs.br/floradigital> >. Acesso em: 11 de Julho de 2012.

GOYCOOLEA, F.; CÁRDENAS, A. Pectins from *Opuntia spp.*: a short review. **Journal of the Professional Association for Cactus Development**, v. 5, p. 17-29, 2003.

GUILARDUCI, V. V. S.; MESQUITA, J. P.; MARTELLII, P. B.; GORGULHO, H. F. Adsorção de fenol sobre carvão ativado em meio alcalino. **Química Nova**, v. 29, n. 6, p. 1226-1232, 2006.

HABIBI, Y.; MAHROUZ, M.; VIGNON, M. R. Isolation and structural characterization of protopectin from the skin of *Opuntia ficus indica* prickly pear fruits. **Carbohydrate Polymers**, v. 60, n. 2, p. 205-213, 2005.

HIGIRO, J.; HERALD, T. J.; ALAVI, S.; BEAN, S. Rheological study of xanthan and locust bean gum interaction in dilute solution: Effect of salt. **Food Research International**, v. 40, n. 4, p. 435-447, 2007.

HOLLIS, H.; SCHEINVAR, L. El interesante mundo de las Cactáceas. **Mexico: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnologia y Fondo de Cultura Economica**, p. 92-96, 1995.

HOU, W. C.; HSU, F. L.; LEE, M. H. Yam (*Dioscorea batatas*) tuber mucilage exhibited antioxidant activities in vitro. **Planta medica**, v. 68, n. 12, p. 1072-1076, 2002.

HUGGINS, M. L. The viscosity of dilute solutions of long-chain molecules. IV. Dependence on concentration. **Journal of the American Chemical Society**, v. 64, n. 11, p. 2716-2718, 1942.

HUGHES, J.; RAMOS, G.; MOYNA, P. Main components in *Cereus peruvianus* epicuticular wax. **Journal of Natural Products**, v. 43, n. 5, p. 564-566, 1980.

IMESON, A. **Food stabilisers, thickeners and gelling agents**. Wiley-Blackwell, 2009.

ITURRIAGA, L.; SÁNCHEZ, S.; CORVALÁN, M. Solubility of dispersions of *Opuntia ficus-indica*. **Proceedings of the VI International Congress on Cactus Pear and Cochineal**, p. 421-426, 2007.

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, n. 5, 2009.

KIESLING, R. Cactaceas de la Argentina Promisorias Agronomicamente. **Journal of the Professional Association for Cactus Development**, v. 4, p. 11-14, 2001.

KITTUR, F. S.; HARISH PRASHANTH, K. V.; UDAYA SANKAR, K.; THARANATHAN, R. N. Characterization of chitin, chitosan and their carboxymethyl derivatives by differential scanning calorimetry. **Carbohydrate Polymers**, v. 49, n. 2, p. 185-193, 2002.

KOOCHEKI, A.; MORTAZAVI, S. A.; SHAHIDI, F.; RAZAVI, S. M. A.; TAHERIAN, A. R. Rheological properties of mucilage extracted from *Alyssum homolocarpum* seed as a new source of thickening agent. **Journal of Food Engineering**, v. 91, n. 3, p. 490-496, 2009.

KRAEMER, E. O. Molecular weights of celluloses and cellulose derivatives. **Industrial & Engineering Chemistry**, v. 30, n. 10, p. 1200-1203, 1938.

KRUMEL, K. L.; SARKAR, N. Flow properties of gums useful to the food industry. **Food Technology**, v. 29, n. 4, p. 36-44, 1975.

LAI, L. S.; TUNG, J.; LIN, P. S. Solution properties of hsian-tsaio (*Mesona procumbens* Hemsl) leaf gum. **Food Hydrocolloids**, v. 14, n. 4, p. 287-294, 2000.

LAUNAY, B.; CUVELIER, G.; MARTINEZ-REYES, S. Viscosity of locust bean, guar and xanthan gum solutions in the Newtonian domain: a critical examination of the log  $([\eta]_{sp}) / c$  o-log  $c$  master curves. **Carbohydrate Polymers**, v. 34, n. 4, p. 385-395, 1997.

LEWIS, M. J. **Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado**. Acribia, 1993.

LORO, J. F.; DEL RIO, I.; PÉREZ-SANTANA, L. Preliminary studies of analgesic and anti-inflammatory properties of *Opuntia dillenii* aqueous extract. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 67, n. 2, p. 213-218, 1999.

LUVIELMO, M. M.; SCAMPARINI, A. R. P. Goma xantana: produção, recuperação, propriedades e aplicação. **Estudos Tecnológicos**, v. 5, n. 1, 2009.

MAJDOUB, H.; ROUDESLLI, S.; PICTON, L.; LE CERF, D.; MULLER, G.; GRISEL, M. Prickly pear nopals pectin from *Opuntia ficus-indica* physico-chemical study in dilute and semi-dilute solutions. **Carbohydrate Polymers**, v. 46, n. 1, p. 69-79, 2001.

MALKIN, A. I. A. **Rheology fundamentals**. ChemTec Publishing, 1994.

MARASCHIN, M.; CAROBREZ, S. G.; PERSIKE, D.; PEIXOTO, M. L.; FERREIRA, A. G.; FERRACIN, R.; VERPOORTE, R.; FONTANA, J. D. Cell wall polysaccharides from *Mandevilla velutina* (Apocynaceae) cultured cells: extraction and chemical structure. **Carbohydrate Polymers**, v. 41, n. 1, p. 55-60, 2000.

MATSUHIRO, B.; LILLO, L. E.; SÁENZ, C.; URZÚA, C. C.; ZÁRATE, O. Chemical characterization of the mucilage from fruits of

*Opuntia ficus indica*. **Carbohydrate Polymers**, v. 63, n. 2, p. 263-267, 2006.

MAUSETH, J. D. Theoretical aspects of surface-to-volume ratios and water-storage capacities of succulent shoots. **American Journal of Botany**, v. 87, n. 8, p. 1107-1115, 2000.

\_\_\_\_\_. Structure–function relationships in highly modified shoots of *Cactaceae*. **Annals of Botany**, v. 98, n. 5, p. 901-926, 2006.

MCCLEMENTS, D. J. **Food emulsions: principles, practices, and techniques**. CRC, 2005.

MCGARVIE, D.; PAROLIS, H. The Mucilage of *Opuntia aurantiaca*. **Carbohydrate Research**, v. 94, n. 1, p. 67-71, 1981.

MEDINA-TORRES, L.; BRITO-DE LA FUENTE, E.; TORRESTIANA-SANCHEZ, B.; KATTHAIN, R. Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus-indica*). **Food Hydrocolloids**, v. 14, n. 5, p. 417-424, 2000.

MEDINA, E. M.; RODRÍGUEZ, E. M.; ROMERO, C. D. Chemical characterization of *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus indica* fruits. **Food Chemistry**, v. 103, n. 1, p. 38-45, 2007.

MELLO, I. L.; COUTINHO, F. M. B.; DELPECH, M. C.; ALBINO, F. F. M.; SANTOS, S. M. Polibutadieno alto-cis: estudo viscosimétrico em tolueno e ciclo-hexano. **Polímeros Ciência e Tecnologia**, v. 16, n. 1, p. 53, 2006.

MIZRAHI, Y.; NERD, A.; SITRIT, Y. New fruits for arid climates. **Trends in new crops and new uses**, p. 378-384, 2002.

MONDOA, E. I.; KITEI, M. **Sugars that heal: the new healing science of glyconutrients**. New York: Ballantine Books, 2002. 263

MOREIRA, R.; CHENLO, F.; SILVA, C.; TORRES, M. D.; DÍAZ-VARELA, D.; HILLIOU, L.; ARGENCE, H. Surface tension and refractive index of guar and tragacanth gums aqueous dispersions at different polymer concentrations, polymer ratios and temperatures. **Food Hydrocolloids**, v. 28, n. 2, p. 284-290, 2012.

MORRIS, E. R.; CUTLER, A. N.; ROSS-MURPHY, S. B.; REES, D. A.; PRICE, J. Concentration and shear rate dependence of viscosity in random coil polysaccharide solutions. **Carbohydrate Polymers**, v. 1, n. 1, p. 5-21, 1981.

MOBHAMMER, M. R.; STINTZING, F. C.; CARLE, R. Cactus pear fruits (*Opuntia spp.*): a review of processing technologies and current uses. **Journal of the Professional Association for Cactus Development**, v. 8, p. 1-25, 2006.

MUÑOZ, J.; RINCÓN, F.; ALFARO, M. C.; ZAPATA, I.; FUENTE, J.; BELTRÁN, O.; PINTO, G. L. Rheological properties and surface tension of *Acacia tortuosa* gum exudate aqueous dispersions. **Carbohydrate Polymers**, v. 70, n. 2, p. 198-205, 2007.

NITSCHKE, M.; PASTORE, G. M. Biossurfactantes: propriedades e aplicações. **Química Nova**, v. 25, n. 5, p. 772-776, 2002.

ORTIZ, H. Y. D.; LIVERA, M. M.; PIMIENIA, B. La pitahaya (*Hylocereus spp.*): Recurso genético de América. Memorias del 6º Congreso Nacional y 4º Internacional sobre el conocimiento y aprovechamiento del nopal, 1995. Guadalajara, México. p.191-194.

PAMIES, R.; CIFRE, J. G. H.; MARTÍNEZ, M. D. C. L.; DE LA TORRE, J. G. Determination of intrinsic viscosities of macromolecules and nanoparticles. Comparison of single-point and dilution procedures. **Colloid & Polymer Science**, v. 286, n. 11, p. 1223-1231, 2008.

PANICO, A. M.; CARDILE, V.; GARUFI, F.; PUGLIA, C.; BONINA, F.; RONSISVALLE, G. Protective effect of *Capparis spinosa* on chondrocytes. **Life Sciences**, v. 77, n. 20, p. 2479-2488, 2005.

PARK, E. H.; KAHNG, J. H.; LEE, S. H.; SHIN, K. H. An anti-inflammatory principle from cactus. **Fitoterapia**, v. 72, n. 3, p. 288-290, 2001.

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

PERIAGO, M. J.; ROS, G.; LÓPEZ, G.; MARTINEZ, M. C.; RINCÓN, F. The dietary fiber components and their physiological effects. **Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos**, v. 33, n. 3, 1993.

PICHOT, C.; DELAIR, T.; ELAISSARI, A. **Polymer Colloids for Biomedical and Pharmaceutical Applications in Polymeric Dispersions: Principles and Applications**, J.M. Asua (Eds.). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1997.

PIGA, A. Cactus pear: a fruit of nutraceutical and functional importance. **Journal of the Professional Association for Cactus Development**, v. 6, p. 9-22, 2004.

PILETTI, R. **Extração da mucilagem da tuna (*Cereus hildmaniannus* K. Schum) para aproveitamento industrial**. 2011. (Mestrado). Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

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

RAZAVI, S.; MOGHADDAM, T. M.; EMADZADEH, B.; SAALEHI, F. Dilute solution properties of wild sage (*Salvia macrosiphon*) seed gum. **Food Hydrocolloids**, v. 29, p. 205-210, 2012.

ROMAN-RAMOS, R.; FLORES-SAENZ, J. L.; ALARCON-AGUILAR, F. J. Anti-hyperglycemic effect of some edible plants. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 48, n. 1, p. 25-32, 1995.

ROSELL, C. M.; ROJAS, J. A.; BENEDITO DE BARBER, C. Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. **Food Hydrocolloids**, v. 15, n. 1, p. 75-81, 2001.

SÁENZ, C.; CORRALES, J.; AQUINO, G. Nopalitos, mucilage, fiber, and cochineal. In P. S. Nobel (Ed.), **Cacti: Biology and uses** Los Angeles, CA: University of California, p. 211-234, 2002.

SÁENZ, C.; SEPÚLVEDA, E.; MATSUHIRO, B. *Opuntia* spp mucilage's: a functional component with industrial perspectives. **Journal of Arid Environments**, v. 57, n. 3, p. 275-290, 2004.

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

SCHUMANN, K. Cactaceae. In: C. F. P. Martius & A. G. Eichler (eds.). Frid. Fleischer in Comm. **Flora Brasiliensis**, v. 4(2), p. 186-334, 1890.

SEPÚLVEDA, E.; SÁENZ, C. Industrialización de la tuna (*Opuntia ficus-indica*). I. Aceite de la semilla. **Alimentos**, v. 13, p. 35-38, 1988.

SILVERSTEIN, R. M.; WEBSTER, F. X. **Identificação espectrométrica de compostos orgânicos**. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2000.

STINTZING, F. C.; SCHIEBER, A.; CARLE, R. Phytochemical and nutritional significance of cactus pear. **European Food Research and Technology**, v. 212, n. 4, p. 396-407, 2001.

SUN, Y. C.; WEN, J. L.; XU, F.; SUN, R. C. Structural and thermal characterization of hemicelluloses isolated by organic solvents and alkaline solutions from *Tamarix austromongolica*. **Bioresource Technology**, v. 102, p. 5947-5951, 2011.

TAGER, A. **Physical Chemistry of Polymers: Moscow: Mir Publishers**, 1972.

TAVARES, S. A.; PEREIRA, J.; GUERREIRO, M. C.; PIMENTA, C. J.; PEREIRA, L.; MISSAGIA, S. V. Caracterização físico-química da mucilagem de inhame liofilizada. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 5, p. 973-979, 2011.

TONELI, J. T. C. L.; MURR, F. E. X.; PARK, K. J. Estudo da reologia de polissacarídeos utilizados na indústria de alimentos. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 7, n. 2, p. 181-204, 2005.

TRACHTENBERG, S.; MAYER, A. M. Composition and properties of *Opuntia ficus-indica* mucilage. **Phytochemistry**, v. 20, n. 12, p. 2665-2668, 1981.

VILLASEÑOR, M. A. A.; BOIX, A. C.; NAVARRETE, N. M. **Efecto del método de extracción en las características químicas y físicas del mucilago del nopal (*Opuntia ficus-indica*) y estudio de su aplicación como recubrimiento comestible**. 2008. (Doutorado). Departamento de Tecnología de Alimentos, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.

WANG, Q.; CUI, S. W. Understanding the physical properties of food polysaccharides. **Food Carbohydrates: Chemistry, Physical Properties and Applications**, 2005.

ZHAO, M.; YANG, N.; YANG, B.; JIANG, Y.; ZHANG, G. Structural characterization of water-soluble polysaccharides from *Opuntia monacantha* cladodes in relation to their anti-glycated activities. **Food Chemistry**, v. 105, n. 4, p. 1480-1486, 2007.

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