



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
QUÍMICA**

**Raquel Piletti**

**TÍTULO: EXTRAÇÃO DA MUCILAGEM DA TUNA (*Cereus  
hildmaniannus* K. SCHUM) PARA APROVEITAMENTO  
INDUSTRIAL**

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.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Mara Gabriela Novy Quadri

Florianópolis, 2011.

Catálogo na fonte pela Biblioteca Universitária  
da  
Universidade Federal de Santa Catarina

P638e Piletti, Raquel

Extração da mucilagem da tuna (*Cereus hildmaniannus* K. Schum) para aproveitamento industrial [dissertação] / Raquel Piletti ; orientadora, Mara Gabriela Novy Quadri. - Florianópolis, SC, 2011.

96 p.: il., grafs., tabs.

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

Inclui referências

1. Engenharia química. 2. Mucilagem - Extração (Química). 3. Planejamento experimental. 4. Viscosidade. I. Quadri, Mara Gabriela Novy. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. III. Título.

CDU 66.0

**EXTRAÇÃO DA MUCILAGEM DA TUNA (*Cereus Hildmaniannus*  
K. SCHUM) PARA APROVEITAMENTO INDUSTRIAL**

**Raquel Piletti**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “**Mestre em Engenharia Química**” aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química.

---

Prof.<sup>a</sup>, Dr.<sup>a</sup> Mara Gabriela Novy Quadri,  
Orientadora

---

Prof. Dr. Leonel Teixeira Pinto  
Coordenador do POSENQ

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Dr. Claus Tröger Pich  
UFSC

---

Prof. Dr. José Antônio Ribeiro de Souza  
UFSC

---

Prof. Dr. Marinho Bastos Quadri,  
UFSC

**Florianópolis, 28 de dezembro de 2011**



Dedico este trabalho a minha família e em especial a meu pai Valmor Antônio  
Piletti  
*(in memoriam)*.



## AGRADECIMENTOS

A Deus, porque sem ele nada seria possível realizar na vida.

Agradeço a minha orientadora Mara Gabriela Novy Quadri pela atenção, paciência, apoio e dedicação.

Agradeço a minha mãe, Terezinha Piletti, por toda sua dedicação e ajuda, sempre me apoiando e me incentivando.

Agradeço ao meu irmão, Giovanni Piletti, pelo apoio e incentivo e sobretudo pela sua amizade.

Agradeço ao meu esposo Jair Fiori Júnior, pelo apoio, companheirismo e paciência, por estar sempre ao meu lado.

Agradeço ao meu cunhado Márcio Fiori, pela ajuda, colaboração e apoio.

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

As amigas e amigos do Laboratório de Sistemas Porosos Solange, Natália, Andressa, Gabriela, Raquel, Marcel, John, Fabrício, Henrique, Andréia, Mariana Sanches, Mariana Sobreiro, Rafael e a todos os que passaram pelo laboratório durante este tempo, que de alguma forma contribuíram, seja pela ajuda ou amizade.

A acadêmica de iniciação científica Pâmela Zmorzynsky por toda ajuda e contribuição para o desenvolvimento deste trabalho.

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

Ao professor Dachamir Hotza por disponibilizar o uso do reômetro do Laboratório de Materiais (CERMAT), aos doutorandos da engenharia de materiais Luís Vieira e Priscila Lemes pela ajuda na realização das análises reológicas.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por conceder a bolsa de Mestrado.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.





**No meio da dificuldade, está a  
oportunidade.**  
*Albert Einstein*





## RESUMO

A família *Cactaceae* conta com cerca de 100 gêneros e 2000 espécies. Muitas dessas espécies produzem frutos comestíveis, sendo a *Opuntia* o gênero mais difundido mundialmente. Outra espécie que vem ganhando destaque é o *Cereus hildmaniannus* K. Schum, que ocorre naturalmente na região do meio oeste de Santa Catarina, município de Zortéa, sendo popularmente conhecido como “Tuna”. Produz um fruto comestível, de sabor doce e suave e ganha destaque pela presença de mucilagem, um composto de carboidratos que faz parte das fibras dietéticas. Este hidrocolóide é encontrado também nos cladódios, sendo estes muito utilizados para alimentação animal. Os frutos são uma fonte de compostos funcionais, entre eles se destacam as fibras, os hidrocolóides, os pigmentos, os minerais e algumas vitaminas. Por todas essas características, a mucilagem do fruto de *C. hildmaniannus* pode ser usada em diferentes segmentos industriais, desde a indústria de alimentos, farmacêutica e de cosméticos, até a construção civil. Muitos parâmetros podem influenciar na extração da mucilagem, tais como tempo, temperatura, proporção de água adicionada para facilitar a separação das sementes da polpa, entre outros. Para avaliar as condições de extração da mucilagem do fruto de *C. hildmaniannus* o emprego do planejamento estatístico se fez necessário, pois leva em consideração a interação desses vários fatores. Pode-se observar que o pH é a variável que exerce maior influência sobre a extração da mucilagem, seguido da proporção em massa de polpa/água e a temperatura um fator de baixa significância. Os resultados da caracterização físico-química da polpa do fruto de *Cereus* mostraram-se similar aos dos frutos produzidos e comercializados da *Opuntia*. Além disso, algumas proporções de nutrientes encontrados no *Cereus* podem ser comparadas com outras frutas tropicais. Esse fruto ganha destaque na indústria de sucos por sua capacidade antioxidante, razão pela qual se faz necessário o conhecimento das propriedades físicas e químicas da polpa submetida aos processos de industrialização. Por essa razão avaliou-se o comportamento reológico da mucilagem a diferentes condições como concentração, força iônica, pH, tratamento enzimático a diferentes temperaturas. Através de planejamentos experimentais, saturado e estrela, observou-se que a concentração da mucilagem, seguida do pH e da concentração de cloreto de cálcio são as variáveis que tem efeito sobre um aumento na viscosidades das soluções mucilaginosas. Verificou-se um comportamento não newtoniano dessas soluções, cuja viscosidade aparente decresce com o aumento da taxa de deformação. Os dados reológicos foram ajustados ao modelo de *Mizrahi-Berk*, sendo a escolha do modelo considerada adequada tendo em vista os valores de  $R^2$ . Além disso, pode-se observar um caráter pseudoplástico, onde os valores de índice de comportamento do escoamento estão abaixo da unidade. Não foi encontrada uma tendência definida para o índice de consistência ( $K_M$ ) e comportamento do fluido com o aumento da temperatura.

**Palavras-chave:** extração da mucilagem, caracterização físico-química, planejamento experimental, viscosidade.

## ABSTRACT

The *Cactaceae* family has about 100 sorts and 2000 species. Many of these species produce eatable fruit, the sort *Opuntia* is the most widespread worldwide. Another species that is emerging in the *Cereus hildmaniannus* K. Schum, which occurs naturally in the Midwest region of Santa Catarina, the city of Zortéa, being popularly known as "Tuna". It produces an eatable fruit, sweet and soft and is highlighted by the presence of mucilage, a carbohydrate compound that is a part of dietary fiber. This hydrocolloid is also found in the cladodes, being these used for animal feeding. The fruits are a source of functional compounds, including fiber, hydrocolloids, pigments, minerals and some vitamins. For all these characteristics, the mucilage of the fruit of *C. hildmaniannus* can be used in food industry, pharmaceutical and cosmetics until the civil construction. Many parameters can influence the extraction of mucilage, such as weather, temperature, rate of water added to get an easy separation of seeds from the pulp, among others. To evaluate the conditions of mucilage extraction the use of statistical was required, since it takes into account the interaction of these many factors. The pH is the variable that has the most influence on the mucilage extraction, followed by the proportion mass of pulp/ water and temperature a factor of low significance. The physical-chemical characterization results of pulp of *Cereus* shown to be similar to the fruits of *Opuntia*. In addition, some proportions of nutrients found in *Cereus* can be compared with other tropical fruits. This fruit is highlighted in the juice industry due its antioxidant capacity the reason why it's necessary the knowledge of the physical and chemical properties of the pulp subjected to the industrialization processes. That's why we evaluated the rheological behavior of the mucilage under different conditions such as concentration, ionic strength, pH, enzymatic treatment at different temperatures. Through experimental design, saturated and star, was observed that the mucilage concentration, followed by pH and the concentration of calcium of mucilaginous solutions. There was a non newtonian behavior of these solutions, whose viscosity decreases with increasing strain rate. The rheological data were fitted to the *Mizrahi-Berk* model, the choice of the model considered in view of the  $R^2$  values. Moreover, one pseudoplastic character can be observed, where the index values of behavior are below the unity. There was no definite trend found for a consistency index ( $K_M$ ) and behavior of the fluid with increasing temperature.

**Keywords:** mucilage extraction, physic-chemical characterization, experimental design, viscosity.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Distribuição geográfica da família.....	28
Figura 2 - <i>Pitáia</i> vermelha e <i>Pitáia</i> amarela, respectivamente.....	30
Figura 3 - Fruto de <i>Cereus jamacaru</i> (Mandacaru).....	31
Figura 4 - Fruto e plantação do <i>Cereus peruvianus</i> , respectivamente.....	31
Figura 5 – <i>C. hildmaniannus</i> , cladódio com flor e frutos, respectivamente. ....	32
Figura 6 - <i>Ofi</i> , cladódios e frutos.....	32
Figura 7 - Localização do município de Zortéa/SC.....	34
Figura 8 - Classificação do comportamento reológico de fluidos. ....	44
Figura 9 - Curvas de escoamento típicas de fluidos.....	45
Figura 10 - Efeito do cisalhamento sobre o comportamento de partículas e agregados .....	47
Figura 11 - Frutos de <i>C. hildmaniannus</i> lavados e cortados longitudinalmente.....	51
Figura 12 - Curvas de nível para o a) rendimento e b) sólidos solúveis.....	67



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fluido newtoniano, pseudoplástico, dilatante e plástico de <i>Bingham</i> como casos especiais do modelo <i>Herschel-Bulkley</i> .....	46
Tabela 2 - Planejamento fatorial $2^{(4-1)}$ da extração da mucilagem de <i>C. hildmaniannus</i> .....	51
Tabela 3 - Níveis dos fatores avaliados para extração da mucilagem.....	52
Tabela 4 - Níveis dos fatores avaliados.....	60
Tabela 5 - Planejamento fatorial fracionário para diferentes preparos de amostras.....	61
Tabela 6 - Planejamento espelho para diferentes preparos de amostras.....	61
Tabela 7 - Níveis dos fatores estudados.....	62
Tabela 8 - Planejamento estrela com ponto central para os diferentes fatores e seus respectivos níveis.....	62
Tabela 9 - Respostas obtidas pelo planejamento experimental.....	65
Tabela 10 - Análise de variância para o rendimento a 5% de significância.....	65
Tabela 11 - Análise dos efeitos para o rendimento a 5% de significância.....	66
Tabela 12 - Análise de variância para o teor de sólidos solúveis a 5% de significância.....	66
Tabela 13 - Análise dos efeitos para o teor de sólidos solúveis a 5% de significância.....	66
Tabela 14 - Propriedades químicas da fração solúvel da polpa de <i>C. hildmannianus</i> .....	69
Tabela 15 - Viscosidades (mPa.s) das amostras referente ao planejamento fatorial saturado nas temperaturas estudadas.....	73
Tabela 16 - Viscosidades (mPa.s) das amostras referente ao planejamento espelho nas temperaturas estudadas.....	73
Tabela 17 - Efeito da concentração de mucilagem, força iônica, pH e tratamento enzimático sobre a viscosidade.....	74
Tabela 18 - Médias e desvios das viscosidades (mPa.s) para as amostras em função da temperatura.....	76
Tabela 19 - Parâmetros reológicos do modelo de <i>Mizrahi-Berk</i> , ajustado aos resultados das soluções mucilaginosas para as temperaturas de 8 e 15°C.....	78
Tabela 20 - Parâmetros reológicos do modelo de <i>Mizrahi-Berk</i> , ajustado aos resultados das soluções mucilaginosas para as temperaturas de 30 e 45°C.....	79

Tabela 21 - Parâmetros reológicos do modelo de *Mizrahi-Berk*, ajustado aos resultados das soluções mucilaginosas para as temperaturas de 60 e 70°C.....80

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA - Análise de variância  
AOAC – *Association of Official Analytical Chemist*  
AT – Açúcares Totais  
DNS – Ácido Dinitrosalicílico  
DFI – Indofenil-Sódio  
EAL – Equivalentes de Ácido Gálico  
FAO - *Food and Agriculture Organization*  
Ha - Hectares  
LDL – Lipoproteína de Baixa Densidade  
MMA - Ministério do Meio Ambiente  
PPM – Parte Por Milhão  
R – Rendimento  
RPM – Rotações Por Minuto  
SRL – Sequestro de Radicais Livres  
SS – Sólidos Solúveis  
UV – Ultravioleta



## LISTA DE SÍMBOLOS

$dp$  - Desvio padrão

$F_{calc}$  - Constante de Fisher calculado

$F_{tab}$  - Constante de Fisher tabelado

$GL$  - Graus de liberdade

$k$  - Índice de consistência ( $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$ )

$k_M$  - Índice de consistência ( $\text{Pa}^{1/2}\cdot\text{s}^n$ )

$K_C$  - Viscosidade plástica de Casson ( $\text{Pa}\cdot\text{s}$ )

$K_{OC}$  - Tensão inicial ( $\text{Pa}$ )

$K_{OM}$  - Raiz quadrada da tensão inicial de cisalhamento ( $\text{Pa}^{1/2}$ )

$LC$  - Limite de confiança

$MQ$  - Média quadrática

$n$  - Índice de comportamento (adimensional)

$SQ$  - Soma quadrática dos resíduos

$g$  - Taxa de deformação ( $\text{s}^{-1}$ )

$t_0$  - Tensão inicial de cisalhamento ( $\text{Pa}$ )

$t$  - Tensão de cisalhamento ( $\text{Pa}$ )

$\mu$  - Viscosidade ( $\text{Pa}\cdot\text{s}$ )

$h$  - Viscosidade aparente ( $\text{Pa}\cdot\text{s}$ )



# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>25</b>
1.1 Importância do estudo.....	25
1.2 OBJETIVOS.....	26
1.2.1 Objetivo Geral.....	26
1.2.2 Objetivos Específicos.....	26
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>27</b>
2.1 <i>Cactáceas</i> .....	27
2.1.1 <i>Cereus</i> .....	30
2.1.2 <i>Cereus hildmaniannus K. Schum.</i> .....	33
2.2 Utilização das <i>Cactáceas</i> .....	35
2.3 Propriedades Funcionais.....	38
2.4 Gomas e Mucilagens.....	40
2.5 Mucilagens.....	40
2.6 Reologia.....	42
2.6.1 Classificação reológica dos fluidos.....	43
2.6.2 Modelos reológicos.....	47
2.6.2.1 Modelo de Ostwald-de-Waele.....	48
2.6.2.2 Modelo de Herschel-Bulkley.....	48
2.6.2.3 Modelo de Casson.....	49
2.6.2.4 Modelo de Mizrahi-Berk.....	49
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>51</b>
3.1 Extração e precipitação da mucilagem.....	51
3.2 Caracterização físico-química da polpa do fruto de <i>C. hildmaniannus</i> .....	52
3.2.1 Cálculo do rendimento.....	53
3.2.2 Açúcares Totais.....	53
3.2.3 Açúcares Redutores.....	53
3.2.4 Sólidos solúveis.....	54
3.2.5 Sólidos totais.....	54
3.2.6 Cinzas.....	54
3.2.7 Proteínas.....	55
3.2.8 Lipídeos.....	55
3.2.9 Teor de Fenólicos Totais.....	56
3.2.10 Capacidade Antioxidante.....	56
3.2.11 Vitamina C.....	57
3.2.12 pH.....	57
3.3 Estudo do comportamento reológico da mucilagem da polpa do fruto do <i>C. hildmaniannus</i> submetida a diferentes tratamentos.....	57
3.3.1 Obtenção da mucilagem.....	57
3.3.2 Solubilidade da mucilagem.....	58
3.3.3 Preparo das soluções para avaliação do efeito das condições do Meio.....	59

3.3.4	Planejamentos experimentais.....	59
3.3.5	Caracterização reológica da mucilagem.....	63
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>65</b>
4.1	Extração e precipitação da mucilagem.....	65
4.2	Caracterização físico-química da polpa do fruto de C. Hildmaniannus.....	69
4.3	Estudo do comportamento reológico da mucilagem da polpa do fruto do C. hildmaniannus submetida a diferentes tratamentos.....	72
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>81</b>
<b>6.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>83</b>

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Importância do estudo

As cactáceas são plantas com características de regiões de clima árido. Além de sua diversidade chamam atenção por possuírem em sua composição química compostos com propriedades medicinais, nutricionais e funcionais, podendo ser utilizados, dentre outras, na indústria de alimentos (DURLI, 2007; SHEDBALKAR, 2010).

Dentre as cactáceas, o *Cereus hildmaniannus* K. Schum (referido no texto como *C. hildmaniannus*), tem se mostrado promissor dentro do contexto “Plantas do Futuro”, um programa do Ministério do Meio Ambiente (MMA) que visa encontrar uma alternativa de renda da agricultura familiar e com isso minimizar o problema de êxodo rural. Por se tratar de uma espécie nativa, apresenta potencial extrativista, de domesticação e cultivo em escala, como já ocorreu com outras espécies de plantas, como por exemplo, a *Opuntia ficus indica* (referida no texto como *Ofi*), tendo como vantagem principal, a ocorrência natural em regiões onde as demais atividades agrícolas são dificultadas devido ao solo raso, pedregoso e com escassez de água (PORTO, 2009).

Do *C. hildmaniannus*, cladódio ou fruto (polpa ou pericarpo), pode-se extrair a mucilagem, um composto de carboidratos complexos que fazem parte das fibras dietéticas (SÁENZ, 2004). Essa mucilagem, dentre outras características, apresenta alta higrocapacidade e isso faz dela uma matéria-prima em potencial para a indústria de hidrocolóides, pois, além de formar géis, é um polissacarídeo natural que pode ser usado nos diferentes segmentos industriais, tendência a ser seguida pelos vários segmentos da indústria de alimentos.

Essa cactácea é encontrada naturalmente na região do meio oeste de Santa Catarina, possui um fruto carnoso, sabor suave, sendo comestível e muito apreciado pela população rural da região, porém, pouco conhecida pela grande maioria da zona urbana (BRUXEL e JASPER, 2005).

Ausência de dados sobre esta cactácea e seu potencial para utilização, sobretudo na indústria de alimentos, faz necessários estudos mais aprofundados sobre as condições de processamento. Por isso, o presente trabalho tem como finalidade estudar a caracterização físico-química da polpa do *C. hildmaniannus*; a otimização das condições de extração e precipitação; e caracterização reológica da mucilagem para verificar qual seu comportamento frente às diferentes condições de processo.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

O trabalho objetiva caracterizar a polpa e a mucilagem da polpa do fruto do *C. hildmaniannus* para aproveitamento industrial, bem como avaliar seu comportamento reológico quando submetida a diferentes condições de processo, como concentração de mucilagem, força iônica, pH, tratamento enzimático, em diferentes temperaturas.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Otimização da melhor condição de extração e precipitação da mucilagem da polpa do fruto de *C. hildmaniannus*;
- Caracterização química da polpa do fruto do *C. hildmaniannus*;
- Estudo do comportamento reológico da mucilagem da polpa do fruto do *C. hildmaniannus* quando submetida às diferentes condições de processo, como, concentração de mucilagem, força iônica, pH, tratamento enzimático, em diferentes temperaturas.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Cactáceas

A família *Cactaceae* é representada por plantas perenes, geralmente suculentas e altamente especializadas, apresentando um alto grau de evolução paralela em morfologia vegetativa e na estrutura floral. Apresentam hábito arbóreo, arbustivo, epifítico ou geófito. Caule colunar, cilíndrico, globoso, tuberculado, com costelas, alado ou achatado, frequentemente segmentado, geralmente sem folhas e com espinhos, esverdeado e com função fotossintetizante. Folhas, quando presentes, arranjadas espiraladamente, simples, inteiras e sem estípulas. Gemas axilares desenvolvendo um indumento de tricomas multicelulares (aréola) e folhas geralmente transformadas em espinhos. Aréolas originadas de ramos reduzidos e modificados de onde surgiram tricomas, espinhos e flores. Flores geralmente vistosas, isoladas ou raramente agrupadas, usualmente sésseis nas aréolas, quase sempre bissexuais, usualmente actinomorfas; receptáculo envolvendo o ovário (pericarpelo), glabro ou revestido com escamas bractiformes e aréolas; aréolas com tricomas, pêlos e/ou espinhos; tépalas usualmente numerosas, em séries graduais; estames frequentemente numerosos em uma ou mais séries de disposição espiralada, inseridos no tubo floral, anteras biloculares, tetrasporangiadas, com deiscência longitudinal; ovário ínfero (exceto espécies de *Pereskia*), unilocular, carpelos de 3 a 20, óvulos numerosos, estilete geralmente longo, estigma com 3 a 20 lóbulos. Fruto carnoso ou seco, glabro, escamoso, tomentoso, cerdoso ou espinhoso, deiscente ou indeiscente. Sementes numerosas, endosperma ausente ou presente; cotilédones reduzidos ou vestigiais (BRUXEL e JASPER, 2005).

As cactáceas pertencem quase exclusivamente a América e suas espécies se encontram desde o sul do Canadá até o estreito de Magalhães, uma espécie de *Rhipsalis* se encontra naturalmente na África, Madagascar e Índia, ocorrendo maior abundância em gêneros e espécies no México, onde também são de grande utilização da população local. Em segundo plano fica a Bolívia, Peru e nordeste da Argentina, (KIESLING e FERRARI, 2005).

Segundo KIESLING (2001) a família *Cactaceae* conta com cerca de 100 gêneros e 2000 espécies. Destes, aproximadamente 12 a 15 gêneros e 50 a 80 espécies apresentam aptidões agrícolas, a maioria delas

pertence ao gênero *Opuntia*, mas há outros como *Cereus*, *Trichocereus*, *Harrisia*. SOUZA (2005) relata que a família das cactáceas possui distribuição neotropical, incluindo cerca de 100 gêneros a 1500 espécies, havendo pouco consenso na delimitação de gêneros e espécies na família, já no Brasil ocorrem cerca de 40 gêneros e aproximadamente 200 espécies.

Figura 1- Distribuição geográfica da família.



Fonte: PORTO, 2009.

A família está dividida em três subfamílias: *Opuntioideae* - apresenta espécies tipo árvore ou arbusto, com folhas, divididas em cinco gêneros; *Pereskioideae* - representada pelos gêneros *Pereskia* e *Maihuenia*; *Cactoideae* - a mais numerosa com 91 gêneros, geralmente árvores sem folhas ou com vestígios de folhas. As espécies da subfamília *Pereskioideae* apresentam hastes não suculentas, folhas grandes, aréolas axilares com espinhos; na subfamília *Opuntioideae* há hastes e folhas suculentas e aréolas axilares com espinhos; as *Cactoideae* não têm folhas, possuem hastes suculentas com aréolas bem desenvolvidas (BARTHLOTT e HUNT, 1993).

Muitas espécies de cactáceas produzem frutos comestíveis, todavia como cultivos para a produção de frutos só se conhecem as espécies de um grupo, a *Platyopuntia*, que apresentam segmentos planos de caule. As espécies de outros grupos, como as cactáceas colunares em especial

do gênero *Cereus* e as cactáceas rasteiras (epífitas) são muito apreciadas pelo camponês em sua área nativa e só recentemente começaram a ser estudadas, visando cultivá-las em plantações comerciais (NERD *et al.*, 1993).

A pera espinhosa ou cactus pera (*Opuntia* ssp.) é a cultura mais cultivada de cactus comestíveis no mundo e é amplamente distribuída no México e no continente sul-americano. O gênero *Opuntia* inclui aproximadamente 300 a 400 espécies e grande número de variedades. As plantas de cactus pera têm duas partes comestíveis, uma delas é representada por uma haste carnuda também conhecida como cladódios, bloco de cacto, cacto tronco, nopalitos (cladódios jovens), cactus, vegetal ou folha de cactus. Outra parte comestível são os frutos, altamente atraentes e nutritivos. Seus frutos são bagas carnudas variando em forma, tamanho e cor, possuem casca grossa, polpa de sabor delicado, suculenta, com muitas sementes, sendo elas comestíveis (EL-SAMAHY, 2006).

PIGA (2004) relata que a *Opuntia* representa o maior e mais impressionante da família cactaceae. Por outro lado a *Opuntia ficus indica* (L.) Miller é o cacto mais conhecido e cultivado para frutas, vegetais forrageiros e forrageiras (RUSSELL e FELKER, 1987).

KIESLING (2001) relata que dentre as plantas deste gênero a mais importante agronomicamente é sem dúvida a *Ofi*, popularmente conhecida no Brasil como figo da índia no sul e no nordeste como palma. Sua produtividade é comparável com a das culturas agrícolas mais produtivas. Há uma grande quantidade de cultivares que diferem entre si nas características de suas frutas, mas pouco tem sido publicado sobre sua diversidade em relação à frutificação, fenologia, comportamento de floração, desenvolvimento das frutas. A grande maioria das *Opuntias* sobrevive a prolongadas secas. Destas, a *Ofi* é a mais importante das cactáceas utilizadas na agricultura.

O seu cultivo ganha cada vez mais importância com o avanço da desertificação, onde o uso de tecnologias apropriadas e de culturas adequadas garante o desenvolvimento sustentável (INGLESE *et al.*, 1995).

Outras cactáceas exóticas também são de grande importância econômica mais de pouco conhecimento científico, como descrito por LORENZI (2006), evidenciando o uso das cactáceas no mercado, como a Pitáia-branca (*Hylocereus undatus*) e a Pitáia-vermelha (*Hylocereus lemairei*), que tem utilidade comercial, sendo vendidas *in natura*. Outra Pitáia também comercializada é a Pitáia-amarela (*Selenicereus megalanthus*), fruto também vendido *in natura* (Figura 2). Dentre as

cactáceas nativas destacam-se *Cereus jamacaru*, *Hyllocereus*, *Echinocactus*, *Melocactus*.

A *Pitáia* é também conhecida como “Koubo”, comercialmente encontrada na forma de extratos, intitulada a fruta doce do deserto.

Figura 2 - *Pitáia* vermelha e *Pitáia* amarela, respectivamente.



Fonte: MIZRAHI, 2002.

### 2.1.1 *Cereus*

O Gênero *Cereus* pertence à subfamília *Cactoideae*, grupo *Cereoideae*; compreende plantas tipo árvore ou arbustos de hastes (talos) eretos e significa, tanto em grego quanto em latim, “tocha”, provavelmente devido ao formato de candelabro do primeiro cacto conhecido. O Gênero *Cereus* foi primeiramente descrito por Hermann, em 1698 e depois por Miller em 1754, e inclui 900 espécies catalogadas. Em 1909, RICCOBONO dividiu o gênero e criou a denominação *Piptanthocereus*, hoje com 24 espécies. Estas espécies possuem flores, frutos e espinhos semelhantes e estão presentes desde a Índia até a América do Sul (BRITTON e ROSE, 1919).

A espécie *Cereus hildmannianus* apresenta as seguintes sinónimas: *Cereus hildmannianus* ssp. *hildmannianus*, *Piptanthocereus bageanus*, *Cereus milesimus*, *Cereus neonesioticus*, *Piptanthocereus neonesioticus*, *Cereus uruguayanus*, *Piptanthocereus uruguayanus*, *Cereus hildmannianus* ssp. *uruguayanus*, *Cereus xanthocarpus*, *Piptanthocereus xanthocarpus*, *Cereus hildmannianus* ssp.

*Xanthocarpus*. Sua distribuição ocorre principalmente na Argentina (Buenos Aires, Entre Ríos), Brasil (Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, São Paulo), Paraguai e Uruguai (DURLI, 2007).

As semelhanças entre as espécies de *Cereus* são várias, como se pode observar nas figuras 3, 4 e 5.

Figura 3 - Fruto de *Cereus jamacaru* (Mandacaru).



MIZRAHI e colaboradores (2002) relatam em seu trabalho que o *Cereus peruvianus* pode ser a mesma espécie que o *Cereus jamacaru*. Seus frutos são de tamanho médio e a cor da casca varia de amarelo para vermelho. Possuem polpa branca, aromática e de sabor suave. Suas sementes são incorporadas na polpa, são macias e comestíveis, semelhantes ao kiwi (Fig. 3).

Figura 4 - Fruto e plantação do *Cereus peruvianus*, respectivamente.



Fonte: MIZRAHI, 2002.

Essa semelhança física confunde os pesquisadores em relação as suas propriedades, que podem variar de acordo com a espécie, além do grau de maturação, estações climáticas e época da colheita.

Figura 5 – *C. hildmaniannus*, cladódio com flor e frutos, respectivamente.



Os frutos da *Ofi* apresentam diferenças físicas bem consideráveis, como se pode observar na figura 6. Todos esses frutos apresentam composição química semelhante.

Figura 6 - *Ofi*, cladódios e frutos.



### 2.1.2 *Cereus hildmaniannus* K. Schum

Segundo BRUXEL e JASPER (2005), o *C. hildmaniannus* é uma planta ereta, colunar, arbórea ou arbustiva, terrícola, rupícola e eventualmente epífita, de até 8 metros de altura. Cladódios articulados com constrições de crescimento características; coloração geralmente verde. Costelas 6 a 9; aréolas inclusas com tomento cinza. Espinhos 5 a 10, radiais, rígidos, castanhos a pretos. Flores campanuladas com 10 a 18 cm de comprimento, segmentos externos do perianto crassos, verdosos com ápice avermelhado; estames numerosos, estilete cilíndrico; estigma com 12 lóbulos. Fruto carnoso, oval-alongado, amarelo quando maduro, estilete persistente e deiscente por fenda lateral. Sementes obovadas e pretas.

Espécie com distribuição no Paraguai, Bolívia, Uruguai, Argentina e Brasil. Existem registros para São Paulo, Rio de Janeiro e ainda região sul do Brasil. Sua floração pode ser registrada principalmente nos meses de outubro a janeiro e sua frutificação se estende pelo mesmo período (BRUXEL e JASPER, 2005).

Na região do meio oeste de Santa Catarina (Zortéa) ocorre naturalmente e é popularmente chamada "Tuna", é comestível, apreciado pela população rural e pouco conhecido na zona urbana. Cresce em regiões onde as demais atividades agrícolas são extremamente difíceis devido ao solo raso, pedregoso e com escassez de água; no entanto, não existem dados científicos sobre a espécie (DURLI, 2007).

Santa Catarina é um estado brasileiro que apresenta grande riqueza na sua flora em geral e as cactáceas são parte importante desta biodiversidade. Também é uma região onde há muito endemismo em diversas famílias de fanerógamas, tanto ao nível de gêneros como de espécies. A família *Cactaceae* tem uma variada utilidade, como planta forrageira na alimentação animal, planta ornamental, grande valor nutritivo, sendo a palma e frutos comestíveis e grande importância no seu nicho ecológico. O que a torna uma família pouco conhecida e



propriedades medicinais ou possuem compostos que são explorados pela indústria alimentícia ou de cosméticos.

## 2.2 Utilização das Cactáceas

Muitos autores já estudaram a utilização das cactáceas para inúmeros fins. A maioria desses estudos referem-se ao gênero *Opuntia*, variedade esta muito consumida e conhecida mundialmente. Por apresentar características muito semelhantes ao *Cereus*, ambas variedades podem ser utilizadas com a mesma finalidade.

De acordo com VILLASEÑOR (2008), atualmente o nopal, cactácea do gênero *Opuntia* assim conhecida popularmente, tem muitos usos, dentre eles destacam-se:

- Como fruta. Para a produção de tuna, fruto do nopal. Esta cactácea é cultivada em diversos países: México (67.000 Ha), Itália (2.500 Ha), Sul da África (1.500 Ha), Chile (1.000 Ha), Colômbia (300 Ha), Israel (250 Ha), Estados Unidos de América (200 Ha), entre outros países;
- Como hortaliça (nopalito). Com este propósito o nopal é cultivado no México (10.500 Ha) e nos Estados Unidos da América (150 Ha);
- Como palma forrageira. O nopal é cultivado em diversos países para este propósito: Brasil (500.000 Ha), Sul da África (350.000 Ha), México (150.000 Ha, além disso, 3.000.000 Ha de nopal silvestre são usados para fabricação de forragem), Túnez (75.000 Ha), Marrocos (10.500 Ha), Argentina (10.000 Ha), Estados Unidos da América (1000 Ha, além disso, 500.000 Ha de nopal silvestre);
- Como substrato para a produção de corante de cochonilha. A cochonilha (*Dactylopus coccus* Costa) é um inseto que produz o carmin, um corante roxo que voltou a ter importância, já que a maioria dos corantes artificiais foram considerados cancerígenos. Cultiva-se o nopal para produzir corante no Peru (70.000 Ha), Bolívia (1.000 Ha), Chile (500 Ha), Espanha (300 Ha), Sul da África (100 Ha), Argentina (50 Ha) e México (10 Ha);
- Como planta medicinal. Foi provado que os nopalitos (cladódios novos) e a casca da tuna ácida (*Xoconostle*) diminui

os níveis de colesterol e açúcar no sangue, e por isso seu consumo fresco, cozido e processado, aumentou no México;

- Como matéria prima para a produção de cosméticos. No México e em outros países se fabrica, do nopal e da tuna, cosméticos como: shampoo, condicionadores, sabões, cremes, loções, máscaras, géis, etc.;
- Como matéria prima para elaboração de bebidas alcoólicas. No México, Estados unidos da América, Itália, Peru, Chile, Dinamarca, utiliza-se o nopal e sobretudo a tuna para fabricar vinhos, licores e aguardentes;
- Para conservação do solo. O nopal é utilizado em muitos países para proteger o solo da erosão hídrica e eólica. Evita a desertificação em zonas áridas e semiáridas, formando setos em curvas de nível, que suportam as condições do médio árido caracterizado por uma precipitação pobre e irregular e alta oscilação térmica diária e anual;
- Também se encontram alimentos tradicionais preparados do fruto e dos cladódios. Os alimentos a base dos frutos são: marmeladas, produtos desidratados, sucos concentrados, xaropes e licores. Os derivados dos cladódios são: pickles, sucos, marmeladas e produtos minimamente processados;
- Outros usos populares estão sendo estudadas suas bases científicas, como a utilização dos cladódios na clarificação de águas (LÓPEZ, 2000), adição ao cal como aderentes em pinturas e sua introdução no solo área aumentar a infiltração de água (SÁENZ, *et al.*, 2004);

Além disso, VILLASEÑOR (2008) destaca também uma série de setores industriais podem obter vantagens com a utilização dos produtos obtidos das cactáceas:

- Indústria de bebidas (produção de bebidas alcoólicas e não alcoólicas tanto do fruto quanto dos cladódios);
- Nutrição animal;
- Indústria farmacêutica;
- Indústria de cosméticos (cremes, shampoos, loções);
- Indústria de suplementos alimentícios (fibras e farinhas dos cladódios);
- Indústria produtora de aditivos naturais (gomos e corantes);
- Setor energético (produção de biogás);
- Setor de produção de insumos para agricultura (melhoradores de drenagem dos solos);

- Indústria têxtil (corantes naturais como o carmim de cochonilha);

Na construção civil a mucilagem pode ser adicionada em pastas e argamassas de gesso, cal ou cimento, melhorando a resistência desses materiais em função de suas propriedades aditivas (impermeabilidade e aumento da resistência mecânica). A mucilagem também aumenta sua trabalhabilidade, permitindo a diminuição da quantidade de água na mistura, o que poderia favorecer os compósitos com fibras vegetais, visto que as fibras são higroscópicas (absorvem água) e o aumento desta água resulta em componentes mais frágeis. Outro aspecto favorável está no fato da mucilagem ser uma substância orgânica e natural (MAGALHÃES, 2009);

REIS e NOZAKI (2011) ao estudarem o tratamento de efluentes de uma indústria de papel observaram que os compostos provenientes desse processo são complexos e com elevada toxicidade para a biota aquática e, sobretudo, atuam como agentes bactericidas e fungicidas. Por essa razão são difíceis de serem biodegradados por processos aeróbicos e anaeróbicos, e por isso o método biológico de tratamento desse tipo de efluente tem baixa eficiência, necessitando de outras alternativas de tratamento, como a utilização de polieletrólitos naturais de *Cereus Peruvianus* e *Ofi*, atuando como auxiliares de floculação e precipitação, substituindo os sais de alumínio. Porém, os autores não observaram diferenças significativas entre os polieletrólitos extraídos do *Cereus Peruvianus* e da *Ofi* e verificaram a necessidade da utilização dos sais de alumínio juntamente com a mucilagem para uma maior eficiência. No entanto, segundo os autores, as seguintes vantagens na utilização dos polieletrólitos poderiam ser destacadas: formação de flocos maiores e mais densos, rapidez na floculação, decantação e, maior facilidade em filtrações. Considerando-se o caráter não tóxico dos polieletrólitos naturais e a sua facilidade de biodegradação, sua presença é também importante no tratamento biológico por lodos ativados.

Dentre as várias possibilidades de utilização das cactáceas, a polpa dos seus frutos pode ser transformada em diversos produtos como sucos, néctares, geléias, doces, frutas em conserva, vinhos e outras bebidas alcoólicas (EL-SAMAHY *et al.*, 2006).

GIRISH e colaboradores (2009) relataram que gomas e mucilagens de diferentes fontes, bem como seus derivados, têm sido usadas na indústria farmacêutica e na indústria de alimentos, por serem consideradas seguras para o consumo humano. Na indústria farmacêutica são utilizadas devido a suas propriedades geleificantes, ligantes de comprimidos/cápsulas, agentes de estabilização, agentes

espessantes, emulsificantes, formadoras de filmes para revestimentos de comprimidos/cápsulas e também agentes de revestimentos para microcápsulas.

Por todas as características e funções, estudos realizados pela FAO (*Food and Agriculture Organization*) demonstram a importância das cactáceas como recursos naturais e como uma fonte potencial de renda, emprego e nutrientes (VILLASEÑOR, 2008).

### 2.3 Propriedades funcionais

A maioria dos trabalhos encontrados na literatura sobre as propriedades funcionais das cactáceas se referem à espécie *Ofi*, conhecida no Brasil como “figo da índia” e mundialmente como “tuna” ou “cactus pera”, além de outras espécies desse gênero. Poucos são os relatos do gênero *Cereus* e suas propriedades funcionais.

De acordo com SÁENZ *et al.* (2004), tanto a fruta como os cladódios da tuna são uma fonte interessante de compostos funcionais, entre eles se destacam as fibras, os hidrocolóides (mucilagem), os pigmentos (betalaínas, carotenóides), os minerais (cálcio, potássio) e algumas vitaminas como a vitamina C. SÁEZ e MONTOUYA (1999) relatam que os componentes da mucilagem são de grande interesse com relação à nutrição humana, pois além dos carboidratos e fibras alimentares estão presentes alguns minerais, tais como  $Ca^{2+}$  e  $K^{+}$ .

Dentre todos os nutrientes, o fruto do *C. hildmaniannus* ganha destaque pela presença da mucilagem, um composto de carboidratos que faz parte das fibras dietéticas. HERNÁNDEZ-URBIOLA (2011), ao estudarem os efeitos nutricionais dos cladódios da *Ofi*, evidenciaram os benefícios associados com teor de fibras, especialmente para a prevenção de doenças como a diabetes, tratamento de distúrbios gastrointestinais, doenças associadas à ingestão de fibra alimentar, redução nos valores de glicose no sangue, além dos efeitos anti-hiperlipidêmicos e anti-hipercolesterolêmicos. Presença de cálcio também foi relatada, sendo que as quantidades são maiores em cladódios mais velhos.

PIGA (2004) relata a importância do suco da *Ofi*, pois o alto teor de fibras contribui para diminuir os níveis de colesterol no sangue.

Os frutos contêm sementes em quantidades variáveis que poderiam ser uma importante fonte de fibras e óleos comestíveis. Mas devido ao seu baixo rendimento em óleo, as sementes são consideradas rejeitos. Os cladódios contêm alto conteúdo de fibras e assim como os frutos, seus

extratos podem auxiliar no emagrecimento e já são encontrados para venda em cápsulas.

MAYWORM e SALATINO (1996) caracterizaram o óleo extraído das sementes de *Cereus jamacaru*. Segundo os autores, há predomínio de ácidos graxos insaturados, destacando-se o ácido oléico (30,2%) e o ácido linoléico (43,4%); entre os saturados, predominam o ácido palmítico (14,6%) e o ácido esteárico (3,7%). A composição obtida a partir das sementes de mandacaru assemelha-se à encontrada no óleo de soja, razão pela qual os autores sugerem potencial para uso comum entre as duas espécies.

Na literatura, também são encontrados dados sobre constituintes com potencial funcional, presentes no fruto da *Opuntia*, como: pigmentos, betalaínas e polifenóis, obtidos por RAMADAN e MÖRSEL (2003) e STINTZING *et al.* (2001).

Galati *et al.* (2007) destacaram os efeitos cicatrizantes, antiinflamatórios e atividade antiúlcera dos cladódios da *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. Os efeitos foram percebidos quando ratos foram alimentados com os cladódios, onde observaram uma diminuição nos níveis de colesterol LDL e triglicérides. Esses efeitos foram atribuídos à presença de mucilagem e pectina presente nos cladódios da *Opuntia*.

De acordo com EL-SAMAHY *et al.* (2006) a cor atraente dos frutos da *Opuntia*, tanto do pericarpos quanto da polpa, são devido à betalaínas presentes nos frutos. A polpa apresenta um valor de pH alto (5,3-7,1), baixa acidez (0,01% para 0,18%, como equivalentes de ácido cítrico) e sólidos solúveis totais variando de 10,7 ° a 17 ° Brix, devido principalmente à presença de açúcares redutores. Essas características tornam a polpa um meio adequado para a contaminação microbiológica, mas por outro lado, muito adequado para ser adicionado a alimentos de baixa acidez.

Além disso, a baixa acidez da polpa a caracteriza como uma alternativa para a correção da acidez de outros sucos, prática comum nas indústrias de sucos de frutas. Por essa característica seu sabor é semelhante à água de coco.

Proteínas, açúcar, fibras dietéticas e cinzas são semelhantes aos de outras frutas, mas seu alto teor de aminoácidos totais, dominado por prolina e taurina é uma característica especial de frutos de cactus (STINTZING *et al.*, 2001). A polpa é uma boa fonte de vitamina C, cálcio e magnésio, além de outros componentes como pectina e mucilagem (polissacarídeos complexos, compostos principalmente de arabinose, galactose, ramnose e ácido galacturônico) que influenciam o sabor agradável, e também celulose, podendo ser utilizado por sua

capacidade de aumentar a viscosidade de soluções, características dos colóides (PIGA, 2004; SAENZ *et al.*, 1992; STINTZING *et al.*, 2001).

Dados recentes indicam que a polpa do cactus pera tem múltiplas propriedades funcionais e poderia ser uma boa fonte natural de nutracêuticos tais como a vitamina C, betalainas, fenólicos, e taurina (SAENZ, 2002; STINTZING *et al.*, 2001).

## 2.4 Gomas e Mucilagens

Segundo ARAÚJO *et al.* (2009) as gomas são polissacarídeos complexos encontrados em algas marinhas, sementes, exsudatos de árvores e em colágeno animal. Apresentam a capacidade de se dissolver e de se dispersar em água. Aumentam a viscosidade, são espessantes e podem ou não ser geleificantes. Na produção de alimentos, são muito importantes por suas características de estabilizante de emulsões, de inibição de sinérese e de controle da cristalização. As mucilagens são polissacarídeos pouco ramificados que não compõem a parede das células vegetais. Normalmente são encontradas no interior das sementes e nas algas. É provável que uma das diferenças entre gomas e mucilagens se deva às suas características de solubilidade: as gomas se dissolvem rapidamente e as mucilagens formam massas viscosas.

De acordo com GIRISH *et al.* (2009) gomas e mucilagens têm certas semelhanças, tanto que são hidrocolóides vegetais. São também polímeros amorfos, que possuem constituintes similares e por hidrólise produzem uma mistura de açúcares e ácidos urônicos. Contêm moléculas hidrofílicas, que pode combinar-se com a água para formar soluções viscosas ou géis.

## 2.5 Mucilagens

A mucilagem faz parte da fração polissacarídica de plantas e possui capacidade de espessamento (NENONENE, 2009).

De acordo com SÁENZ *et al.* (2004) a mucilagem é distribuída nas diferentes partes da planta, referência ao gênero *Opuntia*, cladódios e fruto (polpa e pericarpo). Este hidrocolóide apresenta uma grande capacidade de absorver água. Este desempenha um papel muito importante papel na fisiologia da planta, considerando que as espécies *Opuntia* crescer normalmente sob condições de estresse hídrico (NOBEL *et al.*, 1992; SAAG *et al.*, 1975).

Segundo JANI *et al.* (2009), a mucilagem é uma substância translúcida e amorfa, polimérica formada de monossacarídeos ou mistura de monossacarídeos, sendo que muitas mucilagens possuem a cadeia monossacarídica combinada com ácidos urônicos. A hidrólise da mucilagem fornece mistura de açúcares e ácidos urônicos. A mucilagem contém grupos hidrofílicos que podem se combinar com água para formar soluções viscosas ou géis, sendo que polissacarídeos lineares ocupam mais espaço e formam soluções mais viscosas do que os análogos com mesma massa molar altamente ramificados. Os compostos ramificados formam géis mais facilmente e são mais estáveis porque a interação extensiva ao longo da cadeia não é possível.

As composições químicas da mucilagem da *Opuntia* foram descritas por diversos grupos de pesquisadores, nem sempre se tratando da mesma espécie, mas com contradições importantes em seus resultados. Diferenças nas técnicas de extração e purificação ou possível contaminação da mucilagem com outros compostos presentes na parede celular podem explicar essas contradições dos resultados (SÁENZ *et al.*, 2004).

Com o objetivo de armazenar água como fator de sobrevivência em seu habitat, os cactos possuem substâncias mucilaginosas, cutículas espessas com revestimento ceroso e células epidérmicas geralmente lignificadas. A mucilagem de *Opuntia fulgida* foi a primeira mucilagem investigada quimicamente, apresentando arabinose, galactose, ramnose e ácido galacturônico (DAVET, 2005).

De acordo com MINDT *et al.* (1975) a mucilagem do *Cereus peruvianus* apresentou alto teor de ácido galacturônico, chegando a 40 %, além de açúcares neutros como ramnose, galactose e arabinose.

No geral, sugerem que a mucilagem contém quantidades variáveis de L-arabinose, D-galactose, L-ramnose e D-xilose, como principais açúcares neutros. A presença de ácido galacturônico também foi indicada. A pectina, polissacarídeo acídico, é o principal componente da mucilagem (PORTO, 2009).

A presença deste componente tem sido a causa da contradição desses autores que tem referido a mucilagem como sendo um pectina ou um pecticoíde. A mucilagem da *Ofi* é composto de 24,6 - 42% de arabinose; 21-40,1% de galactose; 8-12,7% de ácido galacturônico; 7-13,1% de ramnose e 22-22,2% de xilose (TRACHTENBERG e MAYER, 1981).

A proporção desses monômeros na molécula varia de acordo com diversos fatores como: variedade, idade, condições ambientais e método de extração (fruto, pericarpo, cladódio), entre outros fatores.

Outra contradição importante se refere à diferença entre gomas e mucilagens. As mucilagens são polissacarídeos pouco ramificados que não compõem as paredes das células vegetais e que, normalmente são encontrados no interior das sementes e das algas. Sendo a diferença em termos de solubilidade, enquanto as gomas se dispersam rapidamente, as mucilagens formam massas viscosas (ARAÚJO *et al.*, 2009; JANI *et al.*, 2009; SÁENZ e MONTROYA, 1999).

## 2.6 Reologia

A Reologia é uma ciência que surgiu no início do século XX e tem como principal propósito o estudo das deformações e do escoamento dos materiais, como indicado pelos radicais de origem grega *rheos* (fluir) e *logos* (estudo). Seu objetivo consiste no estudo do comportamento mecânico da matéria, ou seja, no estabelecimento de relações entre as forças aplicadas e as deformações resultantes (MACOSCO, 1994).

Segundo MCCLEMENTS (2005), a reologia é importante em diferentes áreas da ciência dos alimentos. Muitas das propriedades texturais que os humanos percebem quando consomem alimentos são basicamente reológicas na natureza, isto é, cremosidade, suculência, maciez, suavidade e dureza. A estabilidade e aparência dos alimentos frequentemente dependem das características reológicas e de seus componentes.

Em se tratando de sucos de frutas, alguns de seus constituintes têm especial influência sobre o seu comportamento reológico, sendo um deles representado pelos sólidos insolúveis suspensos, como já citados por vários autores em seus trabalhos (QUEIROZ *et al.*, 2000, ALVARADO e AGUILERA, 2001).

O dimensionamento de equipamentos para processamento de derivados de frutas quer sejam sucos ou polpas envolvem problemas relativos ao seu escoamento e ter-se o conhecimento do comportamento reológico é útil não só para o controle de qualidade do produto, mas principalmente para a adequação correta de sistemas de tubulação, trocadores de calor, filtros, bombas, entre outros (QUEIROZ *et al.*, 2000; ALVARADO e AGUILERA, 2001; RAMÍREZ, 2006).

De acordo com RAMÍREZ (2006), existem várias áreas em que observamos a importância dos conhecimentos reológicos, sendo que no segmento de alimentos destacam-se:

- Processo de cálculos de engenharia, envolvendo diferentes equipamentos. Por exemplo: bombas extrusoras, misturadores, homogeneizadores, trocadores de calor, tubulações, etc;
- Formulação de desenvolvimento de produtos;
- Controle de qualidade de produtos intermediários e finais: esse controle ocorre na própria linha de produção;
- Estudo da vida de prateleira;
- Estudo da textura e consistência dos alimentos por correlação com os dados sensoriais;
- Produção de drogas pode ser estudada estabilidade química, vida de prateleira e facilidade de extrusão, entre outros;
- Estabilidade de emulsões e suspensões.

A crescente necessidade e procura dos parâmetros reológicos para os diversos fluidos manipulados nas indústrias de processamento está ligada também a grande importância econômica que estes fluidos e equipamentos de manipulação representam atualmente (VIDAL, 2000).

### **2.6.1 Classificação reológica dos fluidos**

Define-se um fluido como uma substância que se deforma continuamente quando submetido a um esforço constante, não importa quão pequeno seja este esforço. De todas as propriedades dos fluidos, a viscosidade é aquela que recebe maior atenção quando se estuda o escoamento de um fluido (STREETER, 1996).

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, etc., contribuindo, portanto, na modificação da viscosidade (VANDRESEN, 2007).

Em muitas operações da indústria de alimentos, medir a viscosidade de um fluido é importante para 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 (LEWIS, 1993).

De uma maneira geral, os materiais são divididos em sólidos e líquidos. Um sólido elástico ideal é frequentemente chamado de Hookeano devido ao cientista Robert Hooke, que foi o primeiro a observar a relação linear entre a força aplicada a um material e a consequente deformação do mesmo (MCCLEMENTS, 2005). Esse tipo de material apresenta a propriedade de voltar ao tamanho e forma iniciais quando a força é retirada.

Em função do comportamento reológico viscoso, os fluidos podem ser basicamente classificados em newtonianos e não newtonianos (Figura 8).

Em fluidos newtonianos, a tensão de cisalhamento é diretamente proporcional à taxa de deformação, como é observado na equação (1), de modo que a viscosidade ( $\mu$ ) do sistema independe da taxa de deformação aplicada.

$$\tau = \mu\gamma \quad (1)$$

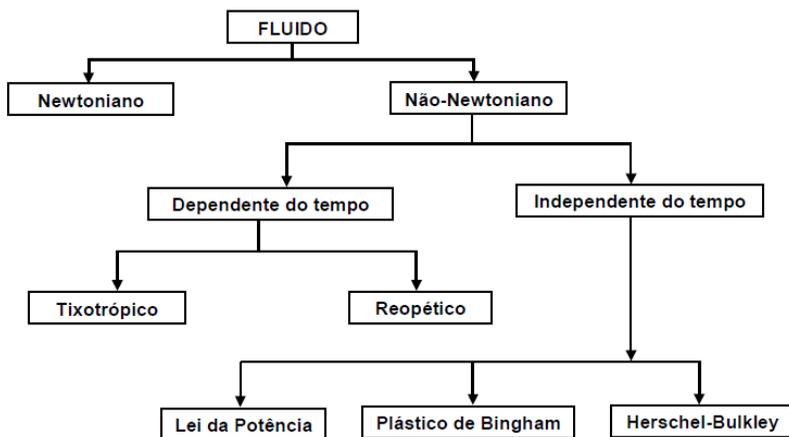
Onde:

$\tau$  - tensão de cisalhamento (Pa)

$\mu$  - viscosidade (Pa. s)

$\gamma$  - taxa de deformação ( $s^{-1}$ )

Figura 8 - Classificação do comportamento reológico de fluidos.



Fluidos não newtonianos são caracterizados como aqueles cuja relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação não é linear e/ou não passa pela origem, podendo ser classificados como

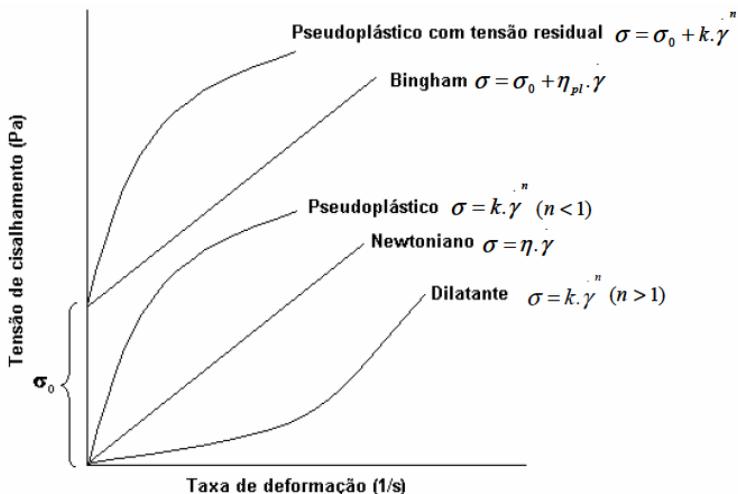
dependentes ou independentes do tempo. Para fluidos não newtonianos o termo viscosidade é substituído por viscosidade aparente,  $\eta_{ap}$  e é função do gradiente de velocidade (VIDAL, 2000), como mostra a equação 2.

$$\eta_{ap} = \frac{\tau}{\gamma} \quad (2)$$

Nos fluidos independentes do tempo, a viscosidade aparente é somente função da taxa de deformação, podendo apresentar ou não tensão residual ( $\tau_0$ ) para o início do escoamento (Figura 9).

De maneira geral, a maior parte dos alimentos não newtonianos mostra comportamento pseudoplástico e tixotrópico, ou seja, a viscosidade aparente diminui à medida que a taxa de deformação e o tempo de cisalhamento aumentam, devido à orientação das moléculas na direção do escoamento e à quebra de agregados, que tornam a resistência ao movimento cada vez menor (Figura 10) (BARNES *et al.*, 1989).

Figura 9 - Curvas de escoamento típicas de fluidos.



Fonte: SATO, 2009.

No entanto, suspensões concentradas apresentam comportamento pseudoplástico e dilatante a baixas e altas taxas de deformação, respectivamente. A baixas taxas, as partículas escorregam umas sobre as outras, de modo que a viscosidade do sistema diminui com o aumento do cisalhamento, enquanto que, a altas taxas, o contato entre as

partículas é maior, fazendo com que elas interajam entre si, resultando no aumento da viscosidade com a taxa de deformação (GULMUS e YILMAZER, 2005).

Em soluções concentradas, durante o início do cisalhamento, as partículas em suspensão passam por um mecanismo de coagulação e fragmentação, antes de atingirem o estado estacionário.

De acordo com BARTHELMES *et al.* (2003), em suspensões inicialmente livres de agregados, o cisalhamento leva à formação de pequenos agregados devido a pequenas colisões. Posteriormente, com a formação de agregados maiores, o volume de colisão entre as partículas aumenta, causando quebra de alguns agregados e conseqüente redução do tamanho das partículas, até que o equilíbrio entre a coagulação e a fragmentação dos agregados/partículas seja atingido.

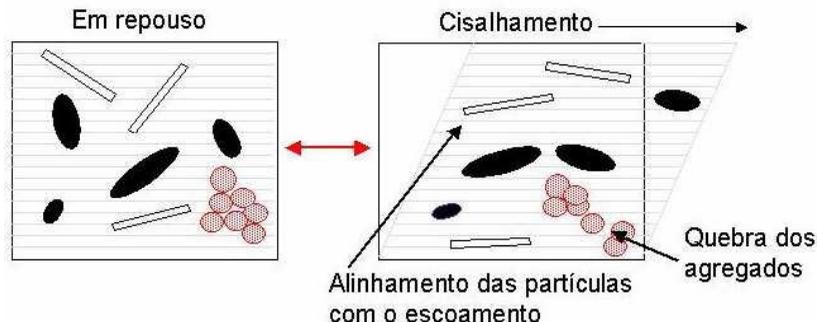
Tabela 1 - Fluido newtoniano, pseudoplástico, dilatante e plástico de Bingham como casos especiais do modelo Herschel-Bulkley.

Fluido	k	n	$\tau_0$	Exemplos típicos
<i>Herschel-Bulkley</i>	$> 0$	$0 < n < \infty$	$> 0$	Pasta de peixe picada, pasta de uva passa
Newtoniano	$> 0$	1	0	Água, suco de fruta clarificado, leite, mel, óleo vegetal
Pseudoplástico	$> 0$	$0 < n < 1$	0	Molho de maçã, purê de banana, sucos e polpas de frutas
Dilatante	$> 0$	$1 < n < \infty$	0	Alguns tipos de mel, solução de 40% de amido de milho
Plástico de <i>Bingham</i>	$> 0$	1	$> 0$	Pasta de dente, pasta de tomate

Fonte: STEFFE, 1996.

Segundo HUANG *et al.* (2004), taxas de deformação elevadas levam ao aumento da força hidrodinâmica do sistema, que promove a colisão entre as partículas, impedindo-as de manter a sua organização. Assim, o contato entre as partículas é maior fazendo com que elas interajam entre si, resultando no aumento da viscosidade com a taxa de deformação (GULMUS e YILMAZER, 2005). Assim, para frações volumétricas de sólidos muito altas, o comportamento do sistema é aparentemente dilatante (BARNES, 1989).

Figura 10 - Efeito do cisalhamento sobre o comportamento de partículas e agregados



Fonte: SATO, 2009.

## 2.6.2 Modelos reológicos

Os fluidos são definidos como substâncias de fluxo que fluem sem desintegrar-se quando se aplica uma pressão, incluindo gases, líquidos e outros sólidos. Em particular, no caso de líquidos requerem diferentes tensões de cisalhamento para permitir que moléculas passem de uma camada para outra com certa velocidade. A relação entre a tensão de cisalhamento necessária para induzir dada a taxa de deformação de cisalhamento, caracteriza o comportamento reológico de um fluido (RAMÍREZ, 2006).

Os modelos reológicos são úteis para relacionar propriedades reológicas de um fluido com grandezas práticas, como concentração, temperatura, pH, índice de maturação, entre outros. Esses modelos podem ser isotérmicos ou não isotérmicos. No primeiro caso, descrevem o comportamento de um fluido a uma temperatura fixa, e no último, incluem relações específicas, como funções da temperatura. Dependendo do modelo utilizado, possuem ou não tensão inicial (VIDAL, 2000).

O modelo reológico mais simples é o newtoniano, que apresenta uma relação linear entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação. No entanto, a maioria dos alimentos fluidos não apresenta esse tipo de comportamento e requer modelos mais complexos para sua caracterização (HOLDSWORTH, 1971; TABILO-MUNIZAGA e BARBOSA-CÁNOVAS, 2005).

Na literatura existem muitos modelos reológicos propostos. A escolha do modelo a ser utilizado é uma função das características do

fluido (RAO e ANANTHESWARAM, 1982). Os modelos mais comumente utilizados são: *Ostwald-De-Waele* (Lei da Potência), *Bingham*, *Herschel-Bulkley*, *Casson* e *Mizrahi-Berk*.

### 2.6.2.1 Modelo de *Ostwald-de-Waele*

O modelo de *Ostwald-de-Waele*, também conhecido como Lei da Potência, é bastante utilizado para descrever o comportamento de alimentos devido à sua simplicidade e ampla aplicabilidade (BRANCO, 2001). A representação matemática do modelo é dada pela equação 3.

$$\tau = \kappa \gamma^n \quad (3)$$

onde:

$n$  = índice de comportamento do escoamento (adimensional)

$\kappa$  = índice de consistência (Pa.s<sup>n</sup>)

A viscosidade aparente é determinada com a equação 4.

$$\eta = \kappa \gamma^{n-1} \quad (4)$$

O valor de  $n$  é uma medida da pseudoplasticidade do fluido. Quando  $n$  é maior que 1, o fluido apresenta comportamento dilatante. Se  $n$  é menor que 1, o material apresenta um comportamento pseudoplástico e, ainda, quanto menor o valor de  $n$ , maior a pseudoplasticidade do fluido. Para valores de  $n$  igual à unidade, o fluido se comporta como Newtoniano e  $\eta = k$  (SANTOS, 2004).

### 2.6.2.2 Modelo de *Herschel-Bulkley*

Representado pela equação 5, este modelo é uma forma modificada do modelo proposto por *Ostwald-De-Waele*, diferindo apenas pela existência de uma tensão inicial, a partir da qual o fluido começa a escoar (COSTA, 2006).

$$\tau = \tau_0 + \kappa \gamma^n \quad (5)$$

onde:

$\tau_{0H}$  = tensão inicial de cisalhamento (Pa)  
 $\kappa_H$  = índice de consistência (Pa.s)  
 $\gamma$  = taxa de deformação ( $s^{-1}$ )  
 $n_H$  = índice de comportamento do escoamento (adimensional)

### 2.6.2.3 Modelo de Casson

CASSON (1959) desenvolveu este modelo para uma suspensão de partículas interagindo em um meio newtoniano, obtendo a seguinte expressão matemática:

$$\tau^{1/2} = K_{oc} + K_c \gamma^{1/2} \quad (6)$$

Onde:

$\tau$  = tensão de cisalhamento (Pa)  
 $K_{OC}$  = tensão inicial (Pa)  
 $K_C$  = viscosidade plástica de Casson (Pa.s)  
 $\gamma$  = taxa de deformação ( $s^{-1}$ )

### 2.6.2.4 Modelo de Mizrahi-Berk

MIZRAHI-BERK (1972) mostraram que o modelo de *Casson* não se adapta a baixos valores de taxa de deformação para o suco de laranja concentrado. O mesmo foi mostrado por outros pesquisadores para o concentrado de tomate. Dessa forma, o modelo de *Mizrahi-Berk* surgiu como uma modificação da equação de *Casson*, e foi criado para ser utilizado no estudo do escoamento de suco de laranja concentrado e suspensões de partículas interagindo entre si em um meio pseudoplástico. A equação desenvolvida foi:

$$\tau^{1/2} = K_{OM} + K_M \gamma^{n_M} \quad (7)$$

onde:

$\tau$  = tensão de cisalhamento (Pa)  
 $K_{OM}$  = raiz quadrada da tensão inicial de cisalhamento ( $Pa^{1/2}$ )  
 $K_M$  = índice de consistência ( $Pa^{1/2} s^n$ )  
 $\gamma$  = taxa de deformação ( $s^{-1}$ )  
 $n_M$  = índice de comportamento do fluido



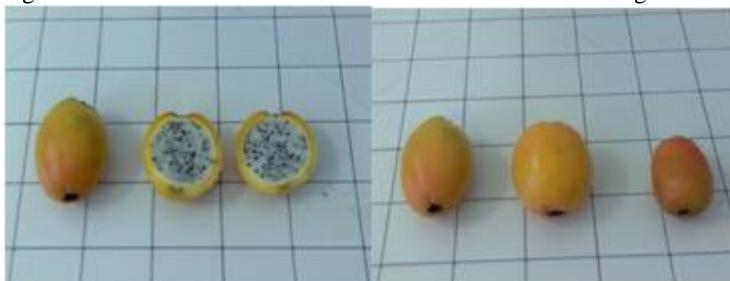
### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Extração e precipitação da mucilagem

Os frutos de *C. hildmannianus* (Figura 11) provenientes de Zortéa, SC, safra 2010, foram devidamente lavados e higienizados em solução de hipoclorito de sódio 100 ppm por 30 min. Em seguida, foram novamente lavados com água destilada.

Para o armazenamento, os frutos foram cortados longitudinalmente e a polpa foi separada da casca. A polpa do fruto foi armazenada em *freezer* em embalagens plásticas contendo aproximadamente 20 g de amostra.

Figura 11 - Frutos de *C. hildmaniannus* lavados e cortados longitudinalmente.



A amostra foi descongelada, pesada, diluída e tratada conforme planejamento experimental apresentado na tabela 2.

Tabela 2 - Planejamento fatorial  $2^{(4-1)}$  da extração da mucilagem de *C. hildmannianus*

Ensaio	T (°C)	pH	Proporção (m/m)	Agitação (rpm)
1	-1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1	1
3	-1	1	-1	1
4	1	1	-1	-1
5	-1	-1	1	1
6	1	-1	1	-1
7	-1	1	1	-1
8	1	1	1	1

Para cada condição, foram mantidos fixos o tempo de agitação (30 min), tempo de centrifugação (20 min) e velocidade de centrifugação (15.000 rpm).

As respostas obtidas, para o planejamento experimental, foram teor de sólidos solúveis, açúcares redutores, açúcares totais e rendimento em massa após precipitação com etanol.

Este planejamento fatorial considerou como variáveis de extração a agitação, temperatura, pH e proporção em massa de polpa/massa de água. O pH foi mantido constante utilizando tampão citrato em valores de pH previamente determinados. Os níveis dos fatores avaliados são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Níveis dos fatores avaliados para extração da mucilagem.

Nível	Temperatura (°C)	pH	Proporção (m/m)	Agitação (rpm)
-1	11,8	3,0	1:2	276
1	32,2	6,0	1:4	474

Para medir o teor de sólidos solúveis foi utilizado um refratômetro, da marca Biobrix Mod. 2WAJ. Açúcares totais foram quantificados utilizando-se a metodologia do fenol sulfúrico (DUBOIS, 1956) e açúcares redutores pelo método do ácido Dinitrosalicílico (DNS) (MILLER, 1959). O rendimento da extração foi obtido após concentração da solução em evaporador rotativo até aproximadamente 1/3 do volume inicial. Foram adicionados três volumes de etanol para precipitação da mucilagem. A mesma foi lavada com etanol e seca em estufa a 35 °C até massa constante. Para investigar melhor o rendimento da extração, procedeu-se a extração com proporção em massa de 1:2 de polpa/ água, à temperatura ambiente e 300 rpm de agitação por 30 min. Em seguida, a centrifugação à 15.000 rpm por 20 min. Impuseram-se ao sistema valores de pH que variaram no intervalo de 2,5 a 6,5. Nessas amostras foram analisados os teores de sólidos solúveis, açúcares totais e redutores.

### 3.2 Caracterização físico-química da polpa do fruto de *C. hildmaniannus*

Para realização dos ensaios foi necessária separação das sementes da polpa, sendo isso feito com agitação e adição de água destilada em quantidade igual à amostra tomada para as análises físico-químicas. A agitação foi realizada em um agitador mecânico com velocidade de 400

rpm por aproximadamente 1 hora. Após agitação procedeu-se a separação das sementes com o auxílio de uma peneira de plástico.

Para os cálculos do rendimento e caracterização química considerou-se o fator diluição.

### 3.2.1 Cálculo do rendimento

O rendimento bruto da mucilagem foi calculado através da equação 8.

$$\eta = \frac{\text{massa}_{\text{mucilagem seca}}}{\text{massa}_{\text{polpa}}} \quad (8)$$

Onde:

$\eta$  = rendimento (%);

$M_{\text{massa mucilagem seca}}$  = massa da mucilagem seca após precipitação (g);

$M_{\text{polpa}}$  = massa da polpa sem as sementes após o descascamento (g);

### 3.2.2 Açúcares Totais

Através do método colorimétrico descrito por DUBOIS *et al.* (1956). Em um tubo de ensaio foram adicionados 500  $\mu\text{L}$  de amostra (ou água, no caso do branco), 500  $\mu\text{L}$  de solução de fenol 5 % e 2,5 mL de ácido sulfúrico concentrado. Em seguida o tubo foi agitado, incubado a temperatura ambiente por 30 min. e a absorbância lida em espectrofotômetro a 490 nm. Esta leitura é comparada a uma curva padrão de glicose com concentrações de 0; 0,025; 0,05; 0,075 e 0,1 g/L.

### 3.2.3 Açúcares Redutores

Utilizou-se o método do ácido 3,5 – dinitrosalicílico (3,5 – DNS), como descrito por MILLER (1959). Este método baseia-se na reação de oxidação do grupo aldeído presente nos açúcares redutores, mediante redução do ácido 3,5 – dinitrosalicílico em condições alcalinas. Em um tubo de ensaio contendo 200  $\mu\text{L}$  da amostra previamente diluída, foi adicionado 200  $\mu\text{L}$  do reativo DNS. A mistura

foi incubada em banho-maria a 100 °C por 15 minutos, sendo em seguida resfriada em banho de gelo até a temperatura ambiente. Foi adicionado um volume de 2 mL de água destilada e, após 15 minutos, a absorbância foi lida em espectrofotômetro a 540 nm e comparada a uma curva padrão de glicose em concentrações na faixa de 0 a 3,0 g/L. A leitura é feita contra um branco de água destilada.

### **3.2.4 Sólidos solúveis**

A determinação do teor de sólidos solúveis foi realizada através de um refratômetro óptico manual, transferindo-se de 1 a 2 gotas da amostra homogeneizada para o prisma do refratômetro, calibrado previamente com água destilada, que fornece medidas diretas em °Brix, com resolução de 0,2, sem a necessidade de correção em função da temperatura (AOAC, método 37.1.15, 1997).

### **3.2.5 Sólidos totais**

Obtido por método gravimétrico. Cerca de 5 gramas de amostras foram pesadas e estocadas em uma estufa à 55°C por 5 horas sob vácuo de 40 mmHg, até peso constante. Os recipientes contendo as amostras, cápsulas de vidro, foram inseridos em um dessecador para esfriar por 30 minutos e posteriormente pesados em uma balança semi-analítica, com precisão de 0,001g (AOAC 934.01, 1997).

### **3.2.6 Cinzas**

Por gravimetria, de acordo com a AOAC nº 31.1.04 (1997). Foram pesadas 5 gramas de amostra em cápsula de porcelana, previamente aquecida em mufla a 550 °C, resfriada em dessecador até a temperatura ambiente e pesada. A amostra foi carbonizada em bico de bunsen e posteriormente incinerada em mufla a 550 °C. Em seguida, foi colocada em dessecador até a temperatura ambiente e pesada. As operações de aquecimento e resfriamento foram repetidas até se obter peso constante. Para o cálculo da porcentagem de cinzas (m/m) foi utilizada a equação 9:

$$\text{cinzas}(\%) = \left( \frac{100N}{P} \right) \quad (9)$$

em que  $N$  é a massa de cinzas (g) e  $P$  a massa da amostra (g).

### 3.2.7 Proteínas

A análise de proteínas foi realizada através do método de BRADFORD (1976). Este método colorimétrico é baseado na interação entre o corante e as macromoléculas de proteínas que contém aminoácidos de cadeias laterais básicas ou aromáticas.

A primeira etapa da análise é a preparação do reagente de ensaio, feita através da adição de 1 volume de reagente *Dye Stock* e 4 volumes de água destilada. Em seguida, são colocados em um tubo de ensaio 40  $\mu\text{L}$  de amostra e 2 mL de reagente de ensaio. O tubo é suavemente invertido várias vezes para misturar e é feita a leitura da absorbância em um comprimento de onda de 595 nm. O branco é feito pela substituição da amostra por água destilada. A leitura é comparada a uma curva padrão de albumina de soro bovino (BSA) em concentrações de 0, 250, 500, 1000, 1500 e 2000  $\mu\text{g/mL}$ .

### 3.2.8 Lipídeos

A concentração de lipídios foi determinada pelo método enzimático-colorimétrico Analisa, comercializado por Gold Analisa Diagnóstica Ltda.

*Reagentes:*

Padrão: contém glicerol equivalente a 230 mg/dL de trioleína.

Reagente de cor: contém tampão PIPES 45 mmol/L pH 7,0, 4-clorofenol 6 mmol/L, cloreto de magnésio 5 mmol/L, lípase > 100 U/mL, glicerol quinase > 1,5 U/mL, glicerol-3P-oxidase > 4 U/mL, peroxidase > 0,8 U/L, 4-aminoantipirina 0,75 mmol/L e ATP 0,9 mmol/L.

Tubos de ensaio foram identificados como “branco”, “teste” e “padrão” e foram pipetados nas quantidades indicadas no quadro abaixo:

Tubos	Branco	Teste	Padrão
Amostra	---	20 $\mu$ l	---
Padrão	---	---	20 $\mu$ l
Reagente de cor	2000 $\mu$ l	2000 $\mu$ l	2000 $\mu$ l

As soluções foram agitadas e incubadas durante 15 minutos a temperatura ambiente. A leitura espectrofotométrica foi realizada a 500 nm contra um branco de água destilada. A cor é estável por 2 horas.

### 3.2.9 Teor de Fenólicos Totais

A determinação do conteúdo total de compostos fenólicos foi realizada através do método espectrofotométrico de *Folin-Ciocalteu* descrito por SINGLETON e ROSSI, (1965) e retirado de WATERHOUSE (2002).

Este método está associado ao aparecimento de coloração azul devido à oxidação dos compostos fenólicos em meio básico. A vantagem do método é que o resultado está associado ao aparecimento de absorvância na região do visível, que fornece um resultado mais sensível que a medida de análise espectral na região de UV.

Para a formação de cor, 100  $\mu$ L de amostra, padrão ou água destilada (branco) foram pipetados para um balão volumétrico de 10 mL. Em seguida, foram adicionados 7 mL de água destilada e 500  $\mu$ L do reagente de *Folin-Ciocalteu* (*Sigma-Aldrich*). A mistura foi agitada e incubada (5 min.) a temperatura ambiente. Após esse período, foram adicionados 1,5 mL de solução de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  20%, o volume foi completado a 10 mL, o balão foi agitado e deixado em repouso por 2 horas a temperatura ambiente. A leitura foi realizada a 765 nm em espectrofotômetro *Bel Photonics SP* e comparada às curvas padrão de ácido gálico e ácido cafeico, nas concentrações de 0 a 1500  $\text{mg L}^{-1}$  e 0 a 800  $\text{mg L}^{-1}$ , respectivamente.

### 3.2.10 Capacidade Antioxidante

A capacidade antioxidante foi avaliada utilizando-se o método do sequestro de radicais livres do DPPH (2,2 difenil-1-picrilhidrazil), que se baseia em um ensaio fotométrico onde o radical livre DPPH, que apresenta coloração roxa intensa em solução alcoólica, se reduz em

presença de moléculas antioxidantes, formando o 2,2 difenil-1-picrilhidrazil, que é incolor. Um volume de 2,5 mL de cada amostra foi adicionado a 1,0 mL de solução metanólica de DPPH. Para o controle, foram acrescentados 2,5 mL do branco na solução de DPPH. Após 30 minutos foram realizadas as leituras das absorvâncias das amostras a 518nm, em espectrofotômetro. Os cálculos foram efetuados com o auxílio da seguinte fórmula:

$$\% \text{ descoloração do DPPH} = 100 - [(Ab \text{ amostra} - Ab \text{ branco}) \times 100 / Ab \text{ branco}] \quad (10)$$

Onde: Ab amostra e Ab branco, significam respectivamente, absorvância da amostra e absorvância do branco. A capacidade antioxidante dos sucos foi expressa pela porcentagem de sequestro de radicais livres DPPH (%S.R.L.) (RUFINO *et al.*, 2007).

### **3.2.11 Vitamina C**

O teor de ácido ascórbico seguiu a metodologia da AOAC (1997), a qual se baseia na redução do 2,6-diclorofenol indofenol-sódio (DFI) pelo ácido ascórbico, modificada por BENASSI e ANTUNES (1998), que utiliza como solução extratora o ácido oxálico.

### **3.2.12 pH**

Através da leitura direta do pH da solução em pHmetro de bancada, marca DIGIMED, modelo DM-23.

## **3.3 Estudo do comportamento reológico da mucilagem da polpa do fruto do *c. hildmaniannus* submetida a diferentes tratamentos**

### **3.3.1 Obtenção da mucilagem**

A mucilagem utilizada para o preparo das amostras foi precipitada com etanol em proporção de três volumes de etanol para cada volume de polpa. Cada volume de etanol foi adicionado em etapas em que após cada adição o precipitado era separado utilizando peneira

comum, e em seguida era novamente adicionado etanol, até obtenção de um produto maleável esbranquiçado. A secagem foi realizada em estufa modelo NT 513-D marca Nova Técnica a 40°C por 24h, macerado em almofariz de porcelana e armazenado em embalagem plástica (frasco rosca lacre com cápsula de sílica) e mantida em temperatura ambiente para posteriores análises.

### 3.3.2 Solubilidade da mucilagem

A solubilidade da mucilagem foi avaliada por uma metodologia desenvolvida por ITURRIAGA<sup>a</sup> *et al.* (2007), onde amostras de 0,1 grama foram suspensas em 15 mL de água destilada. Posteriormente, as soluções foram incubadas a temperatura ambiente em constante agitação (100 rpm) por 18 horas. As suspensões foram centrifugadas em 5000g por 15 minutos. O sobrenadante foi seco a 50°C na estufa até peso constante. A percentagem de solubilidade foi calculada pela seguinte equação:

$$\% \text{ solubilidade} = (ws/wi) * 100 \quad (11)$$

Sendo:

- wi: peso inicial da mucilagem;
- ws: peso do sobrenadante seco;

A solubilidade máxima encontrada para a mucilagem foi de aproximadamente 1,5 g/L, para ambas temperaturas estudadas, sendo assim, esse valor definido como sendo a máxima concentração de mucilagem usada para caracterização reológica das soluções de mucilagem.

A solubilidade das macromoléculas depende de suas propriedades de superfície, e está relacionada à composição química, a flexibilidade molecular e em menor grau a forma e tamanho. Frequentemente nos processos de extração e purificação, solventes são usados e estes podem gerar mudanças conformacionais reversíveis ou não, que afetam a hidratação e recuperação dos grupos funcionais originais. Além disso, os autores destacam que a solubilidade desses biopolímeros está relacionada a qualidade dos solventes e sua interação com a água depende das condições físico-químicas das moléculas que podem ser alteradas devido ao processo de aquecimento, secagem e condições de armazenamento, além do pH, força iônica e temperatura (ITURRIAGA<sup>a</sup> *et al.*, 2007; ITURRIAGA<sup>b</sup> *et al.* 2009).

### 3.3.3 Preparo das soluções para avaliação do efeito das condições do meio

Para o preparo das amostras foram utilizadas concentrações de mucilagem na faixa de 0,5 e 1,5 g/L, sendo essas as concentrações definidas como mínima e máxima, respectivamente. Em seguida as soluções foram agitadas por 1 hora e posteriormente foram adicionados diferentes sais, como cloreto de sódio, cloreto de magnésio, cloreto de cálcio e cloreto de potássio de acordo com os ensaios do planejamento experimental. A massa de sais utilizada foi de 30% a 60 % sobre o peso da mucilagem. Para modificação do pH foi usada solução de tampão citrato de sódio em valores de 2,5 e 5,0 unidades de pH.

O tratamento enzimático foi feito conforme descrito por Quadri *et al.* (2010). De forma breve, foi utilizada uma solução pectinases à concentração de 0,04  $\mu\text{L}/\text{mL}$  de polpa. Posteriormente agitada em shaker por 25 min a 45°C. Para a inativação enzimática a solução foi colocada à baixa temperatura.

As amostras foram armazenadas a -18°C até o dia do ensaio reológico.

### 3.3.4 Planejamentos experimentais

O planejamento experimental é um conjunto de técnicas frequentemente utilizadas em estudos de processos para investigações qualitativas ou quantitativas, servindo como ferramenta para se avaliar os efeitos e relações de variáveis de entrada (fatores) sobre variáveis de saída (respostas).

Um experimento para triagem é executado com o interesse em se determinar as variáveis experimentais e as interações entre estas variáveis que possam ter influência estatisticamente significativa sobre as respostas de interesse (TEÓFILO e FERREIRA, 2006).

No estudo do efeito da composição das diferentes amostras de mucilagem de *C. hildmaniannus*, foi avaliada a influência de 7 fatores, bem como suas possíveis interações:

- (A) Concentração de mucilagem;
- (B) Concentração de NaCl;
- (C) Concentração de KCl;
- (D) Concentração de  $\text{CaCl}_2$ ;
- (E) Concentração de  $\text{MgCl}_2$ ;
- (F) pH;

## (G) Tratamento Enzimático.

Em um planejamento fatorial são investigadas as influências de todas as variáveis experimentais e de interesse e os efeitos de interação na resposta ou respostas. O planejamento fatorial completo necessita de  $2^k$  ensaios para sua execução, portanto, sua principal desvantagem é o grande número de ensaios que devem ser realizados a cada fator adicionado no estudo. Se considerarmos (e observarmos) que os efeitos de ordem superior, principalmente para planejamentos com  $k > 4$ , são quase sempre não significativos, a realização de ensaios para estimar tais efeitos de interação pode ser irrelevante. Desta maneira com um número menor de experimentos, é possível obter informações daqueles efeitos mais importantes e retirar, na maioria das vezes, as mesmas conclusões caso fosse realizado um fatorial completo. Os planejamentos que apresentam essas características são conhecidos como planejamentos fatoriais fracionários (TEÓFILO e FERREIRA, 2006).

Segundo BARROS-NETO *et al.* (1996), esta escolha é possível, porque quando o número de variáveis aumenta, cresce consideravelmente o número de efeitos de interações de ordem elevada e também as chances de uma ou mais variáveis, quer por meio de efeitos principais ou por efeitos de interação, não afetarem de forma significativa a resposta.

Para verificar quais os efeitos principais sobre a viscosidade da mucilagem foi usado um planejamento fatorial fracionário, onde foi possível executar apenas 8 experimentos para investigar 7 variáveis. Definiu-se o nível de variação -1 e +1 para cada um dos 7 fatores em estudo. Os níveis de variação e as respectivas variáveis são mostrados nas Tabelas 11, 12 e 13.

Tabela 4 - Níveis dos fatores avaliados.

Níveis	Conc. mucilagem (m/v)	Conc. NaCl (m/m)*	Conc. KCl (m/m)*	Conc. CaCl <sub>2</sub> (m/m)*	Conc. MgCl <sub>2</sub> (m/m)*	pH	Trat. Enz.
-1	0,5	0	0	0	0	2,5	S
1	1,5	30	30	30	30	5,0	N

\* Este valor corresponde a 30% sobre o valor da mucilagem.

Após realizar os ensaios relativos à triagem das variáveis, procedeu-se a análise dos valores dos efeitos de cada fator sobre a variável resposta do planejamento experimental (viscosidade da solução

mucilaginoso), para averiguar, a coerência dos efeitos frente à resposta esperada.

Caso esta coerência não seja encontrada, um planejamento experimental espelho deve ser desenvolvido para a obtenção do efeito de cada fator principal isolado das interações dos fatores secundários.

Este planejamento fatorial considerou como variáveis de viscosidade a concentração de mucilagem, força iônica (NaCl, KCl, CaCl<sub>2</sub> e MgCl<sub>2</sub> a diferentes concentrações), pH e tratamento enzimático.

Tabela 5 - Planejamento fatorial fracionário para diferentes preparos de amostras.

Ensaio	Conc. mucilagem (m/v)	Conc. NaCl (m/m)	Conc. KCl (m/m)	Conc. CaCl <sub>2</sub> (m/m)	Conc. MgCl <sub>2</sub> (m/m)	pH	Trat. Enz. (v)
1*	-1	-1	-1	1	1	1	N
2	1	-1	-1	-1	-1	1	S
3	-1	1	-1	-1	1	-1	S
4*	1	1	-1	1	-1	-1	N
5	-1	-1	1	1	-1	-1	S
6	1	-1	1	-1	1	-1	N
7	-1	1	1	-1	-1	1	N
8	1	1	1	1	1	1	S

\* Análise realizada em duplicata.

O efeito de cada fator principal foi analisado frente à variável resposta viscosidade das soluções mucilaginosas.

Tabela 6 - Planejamento espelho para diferentes preparos de amostras.

Ensaio	Conc. mucilagem (m/v)	Conc. NaCl (m/m)	Conc. KCl (m/m)	Conc. CaCl <sub>2</sub> (m/m)	Conc. MgCl <sub>2</sub> (m/m)	pH	Trat. enz. (v)
1	1	1	1	-1	-1	-1	S
2	-1	1	1	1	1	-1	N
3*	1	-1	1	1	-1	1	N
4	-1	-1	1	-1	1	1	S
5*	1	1	-1	-1	1	1	N
6	-1	1	-1	1	-1	1	S
7	1	-1	-1	1	1	-1	S
8	-1	-1	-1	-1	-1	-1	N

\* Análise realizada em duplicata.

Posteriormente procedeu-se a otimização dos fatores que apresentaram maior grau de significância. Os fatores não significativos foram fixados nos valores mínimos, ou seja, não foram adicionados aos experimentos, convenientes para todos os ensaios de otimização. Com os fatores significativos, realizou-se o planejamento estrela para ampliar o número de níveis, de maneira a se poderem descrever os resultados através de um modelo quadrático empírico.

O cálculo dos efeitos principais na triagem de variáveis é dado por:

$$\frac{(i_1 + i'_1)}{2} = \text{efeito da variável 1 sobre viscosidade} \quad (12)$$

Tabela 7 - Níveis dos fatores estudados.

Fatores	-1,68	-1	0	+1	+1,68
Conc. de muc. (m/v)	0,0075	0,0105	1,150	0,0195	0,0225
Conc. de MgCl <sub>2</sub> (m/m)*	0	0,00275	0,00675	0,0107	0,0135
pH	2,5	4,5	7,5	10,5	12,5

\* Este valor corresponde a 60% sobre o valor da mucilagem.

Tabela 8 - Planejamento estrela com ponto central para os diferentes fatores e seus respectivos níveis.

Ensaio	Conc. de muc. (m/v)	Conc. de MgCl <sub>2</sub> (m/m)	pH
1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1
3	-1	1	-1
4	1	1	-1
5	-1	-1	1
6	1	-1	1
7	-1	1	1
8	1	1	1
9	-α	0	0
10	α	0	0
11	0	-α	0
12	0	α	0
13	0	0	-α
14	0	0	α
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0
18	0	0	0

Para a realização do planejamento estrela foram consideradas apenas os fatores que apresentaram significância estatística observada no planejamento fatorial fracionário e no planejamento espelho, sendo estes a concentração de mucilagem, a concentração de  $MgCl_2$  e o pH. As Tabelas 7 e 8 mostram os níveis e os fatores estudados, respectivamente, com objetivo de verificar o comportamento da viscosidade das soluções mucilaginosas.

### 3.3.5 Caracterização reológica da mucilagem

O comportamento reológico foi determinado através de um viscosímetro rotacional, *Thermo Haake DC 10*, modelo VT 550, geometria de cilindros concêntricos, com banho termostático acoplado ao equipamento. As medidas foram feitas em uma faixa de temperatura, variando de 8 a 85°C. O aparelho fornece diretamente os dados de tensão de cisalhamento, taxa de deformação e viscosidade. Para o controle do sistema e registro das medidas efetuadas utilizou-se o software *Rheowin Pro Job Manager*, que comanda as operações do sistema.

As análises reológicas foram obtidas com variação da taxa de deformação de 0 a 3200  $s^{-1}$  (curva ascendente) e de 3200 a 0  $s^{-1}$  (curva descendente), com um tempo de 3 minutos para cada curva, o que resultou em 100 pontos de subida e 100 de descida para cada ensaio realizado. Para avaliação do erro experimental, foram analisadas em duplicata as seguintes amostras: 1 e 4 do planejamento saturado, e 3 e 5 do planejamento espelho. Os modelos reológicos foram analisados estatisticamente através do programa *Statistica 7.0*®.



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Extração e precipitação da mucilagem

Diversos autores têm utilizado métodos diferentes para extração da mucilagem que influenciaram no rendimento (NOBEL *et. al*, 1992; SÁENZ *et. al*, 1992; CÁRDENAS *et. al*, 1997).

A Tabela 9 mostra os resultados obtidos das respostas para cada experimento, de acordo com o planejamento experimental proposto.

Tabela 9 - Respostas obtidas pelo planejamento experimental.

Ensaio	Sólidos solúveis (°Brix)	Açúcares totais (g /100 g)	Açúcares redutores (g /100g)	Rendimento (%)
1	6,9	8,80 ± 0,49	9,69 ± 0,43	0,20
2	7,0	7,87 ± 0,42	7,61 ± 0,35	0,11
3	9,7	8,35 ± 0,56	9,99 ± 0,26	17,31
4	10,3	6,93 ± 1,01	9,32 ± 0,33	16,87
5	6,0	9,58 ± 0,50	9,45 ± 0,30	0,15
6	6,3	6,87 ± 0,46	7,96 ± 0,22	0,15
7	9,5	7,70 ± 0,52	8,17 ± 0,44	28,58
8	9,7	6,90 ± 0,44	8,43 ± 0,07	24,12

A Tabela 10 mostra a Análise da Variância para o rendimento, a 5% de significância. Em análise prévia, observou-se que a agitação não influi no rendimento. Assim, desprezando além desta as demais variáveis inertes, pode-se observar que a regressão é significativa ao nível de 5%, podendo ser utilizada para predição, pois  $F_{calc} > 5F_{tab}$ .

Tabela 10 - Análise de variância para o rendimento a 5% de significância.

	DQ	GL	MQ	F <sub>calc</sub>	F <sub>tab</sub>
Regressão	1016,06	3,00	338,69	134,85	6,59
Erro	10,05	4,00	2,51		
Total	1026,11	7,00			

Da tabela dos efeitos (Tabela 11) pode-se ver que o pH aumenta o rendimento de extração da mucilagem em 21% à medida que passa do nível -1 (pH=3) a +1 (pH=6). Da mesma forma, a proporção também

aumenta a extração, porém em 4,6%. Este valor é comparável ao efeito da interação pH:proporção, que aumenta a extração na mesma porcentagem.

O modelo reduzido para o rendimento, R, é dado pela equação 13:

$$R=10,94+10,78x_2+2,31x_3+2,32x_2x_3 \quad (13)$$

com coeficiente de determinação de  $R^2=0,99$ .

Tabela 11 - Análise dos efeitos para o rendimento a 5% de significância.

	Efeito	Dp	LC-95.%	LC+95.%
Média	10,94	0,56	9,38	12,49
pH	21,57	1,12	18,46	24,68
Proporção	4,63	1,12	1,52	7,74
pH×proporção	4,63	1,12	1,52	7,74

Para o teor de sólidos solúveis, SS, observa-se que a regressão também é significativa (Tabela 12). Embora o pH aumente a quantidade de sólidos em suspensão (8,18°Brix quando passa de -1 a 1), a proporção de água o diminui (0,6°Brix quando passa de -1 a 1), indicando a obtenção de uma solução mais diluída, contrariamente ao indicado pelo rendimento (Tabela 6).

Tabela 12 - Análise de variância para o teor de sólidos solúveis a 5% de significância.

	DQ	GL	MQ	F calc.	F tab.
Regressão	22,07	4,00	5,52	157,64	9,12
Erro	0,11	3,00	0,04		
Total	22,18	7,00			

A regressão também é significativa a 5%, com  $R^2=0,98$ , sendo inertes as variáveis de agitação e temperatura. O modelo reduzido é, então, dado pela equação 14:

$$SS=8,18+1,62x_2-0,30x_3 \quad (14)$$

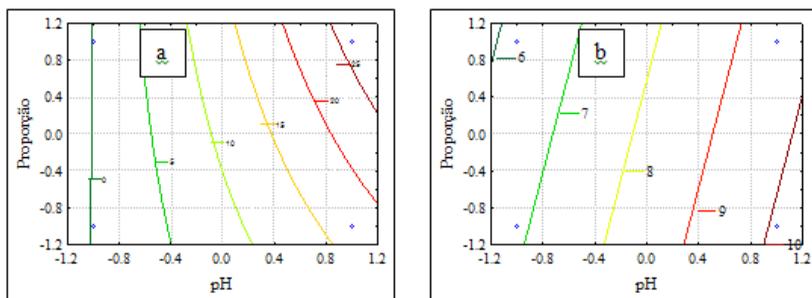
Tabela 13 - Análise dos efeitos para o teor de sólidos solúveis a 5% de significância.

	Efeito	Dp	LC-95.%	LC+95.%
Média	8,18	0,09	7,94	8,41

pH	3,25	0,18	2,78	3,72
Proporção	-0,60	0,18	-1,07	-0,13

A Figura 11 mostra as curvas de nível para estas duas respostas estudadas. Vê-se que no rendimento o termo de interação confere ao modelo uma leve curvatura, indicando que há uma possível condição ótima de extração.

Figura 12 - Curvas de nível para o a) rendimento e b) sólidos solúveis.



Quanto ao teor de carboidratos totais, AT, observou-se que apenas a temperatura é importante. Isto significa que houve uma provável hidratação e consequente solubilização das fibras. O modelo reduzido é dado por uma reta em função da temperatura, com  $R^2=0,85$  (equação 15):

$$AT=7,87-0,73x_1 \quad (15)$$

com coeficiente de determinação de  $R^2=0,85$ .

Para o teor de açúcares redutores, AR, nenhuma das variáveis mostrou-se significativa, indicando que os mesmos já estavam em solução.

De acordo com CAI *et al.* (2008), em estudos sobre a extração de polissacarídeos da *Opuntia milpa alta*, a temperatura foi o fator que mais influenciou no rendimento dos polissacarídeos, mas em temperaturas extremas, acima de 80-90°C, houve diminuição do devido à hidrólise dos mesmos. Para a proporção de água utilizada observou-se um aumento na extração até a proporção 1:3, sendo que após este valor a extração diminuiu lentamente.

SEPÚLVEDA *et al.*(2007), ao avaliar a extração da mucilagem da *Opuntia ssp.*, observaram um pequeno aumento na extração com o

aumento da temperatura . Observaram também uma pequena tendência no aumento da extração quando a quantidade de água foi aumentada, sendo a melhor condição na proporção em massa de 1:7 solução/água. De um modo geral não detectaram diferenças significativas de rendimento nos diferentes tratamentos usados.

Autores como GOLDSTEINS *et al.* (1991) e SAAG *et al.* (1975) ao estudarem o rendimento de extração da mucilagem dos cladódios de algumas variedades da *Opuntia*, relataram que variações no rendimento da extração pode ser devidos as condições climáticas, tais como frio e chuva, devido a capacidade desses polissacarídeos absorverem água como uma defesa da planta sob as condições de estresse.

Observa-se na tabela 9 que foram encontrados valores de açúcares redutores maiores que os açúcares totais. Podem-se lançar algumas hipóteses para o problema encontrado no *Cereus*. A primeira delas é que a determinação de açúcares totais está subestimada devido a uma ação degradativa dos açúcares que compõem a mucilagem pelo meio reagente devido a um tempo excessivo de tratamento. Supõe-se que o reagente fenol-sulfúrico tenha degradado o polímero a monossacarídeos, e posteriormente, estes a furfural, sendo este último não detectado na análise. Outra hipótese é uma superestimação do teor de açúcares redutores, que pode ser devida a dois interferentes: o primeiro deles é a presença de tampão citrato, que possui uma extremidade redutora, podendo ser detectado juntamente com os açúcares; o segundo é a presença de ácidos orgânicos, como o cítrico, ascórbico, málico, e outros, na própria amostra “in natura”, que estão na mesma condição do ácido cítrico/citrato a pHs mais altos.

Embora o tampão citrato tenha sido escolhido por ser um ácido fraco, e que, teoricamente, modificaria menos a estrutura química da polpa, não foi uma boa opção. Estudos mais aprofundados estão em andamento para encontrar a fonte de interferência. Comportamento semelhante foi encontrado por DEMIATE *et al.* (2002), quando analisados padrões de glucose, frutose, sacarose, suco de maçã e refrigerantes de diversas marcas, onde os autores observaram que, em alguns casos, os teores de açúcares redutores foram maiores que os totais.

A precipitação de carboidratos com etanol é um técnica muito utilizada por se tratar de um processo simples e barato. Mas deve ser considerado um parâmetro importante e que precisa ser considerado caso o processo seja feito a nível industrial, uma vez que qualquer aumento da produção afeta as despesas do processo.

Segundo ITURRIAGA *et al.* (2009), frequentemente ao longo do processo de extração e purificação, não-solventes são utilizados e podem gerar mudanças conformacionais que podem ser reversíveis ou não. Isto afeta tanto a ressuspensão quanto o retorno das propriedades funcionais do sistema. Os autores concluíram que o método mais adequado para obtenção da mucilagem de *Opuntia ficus indica* é o que utiliza etanol para precipitação, sendo este um método rápido, barato e atóxico que demonstrou alta porcentagem de ressuspensão quando comparado ao método de precipitação com acetona. A liofilização também é um método atóxico, entretanto os autores indicam que é muito demorado e caro.

#### 4.2 Caracterização físico-química da polpa do fruto de *C. hildmaniannus*

A Tabela 14 mostra os valores obtidos para a caracterização química da polpa do fruto de *C. hildmaniannus*.

São poucos os trabalhos realizados com o gênero *Cereus*, por isso, para dados comparativos foram utilizados trabalhos encontrados para polpa de frutos do gênero *Opuntia*, por possuir vários estudos e ser a um dos gêneros mais consumidos de todas as cactáceas.

Tabela 14 - Propriedades químicas da fração solúvel da polpa de *C. hildmannianus*.

Parâmetros	Polpa
Rendimento (%)	2,18
Umidade (%)	83,12
Sólidos Solúveis (°Brix)	6,01 ± 0,015
Carboidratos Totais (g/100g)	7,59 ± 0,070
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 antiox. (% SRL)**	92,26

\* Equivalente de Ácido Gálico

\*\* Sequestro de Radicais Livres

O rendimento da mucilagem em base seca foi de 2,18%, valor este considerado baixo, dificultando os trabalhos que visam aplicações da mucilagem na indústria de alimentos.

O teor de umidade encontrado de 83,12% está de acordo com várias pesquisadas realizadas por outros autores (OLIVEIRA *et al.* 2011, COELHO *et al.*,2004; SEPULVEDA e SAENZ, 1990; SAWAYA *et al.*,1983), ao avaliarem o teor de umidade da *Opuntia*. PORTO (2009) em seu trabalho sobre a caracterização físico-química da polpa do fruto de *C. hildmaniannus* obteve um teor de umidade de 81,17%.

O valor de pH encontrado para a polpa do *C. hildmaniannus* foi de 3,97, abaixo do encontrado por PORTO (2009). Essa variação encontrada é considerada importante, pois, baseado na classificação de BARUFFALDI e OLIVEIRA (1998) a polpa e casca de frutos de mandacaru são considerados como produtos pouco ácidos (pH acima de 4,5) e ácidos (pH entre 3,7 e 4,5), respectivamente. Ainda, segundo esses pesquisadores, o valor do pH interfere de maneira significativa no desenvolvimento de microrganismos; os produtos pouco ácidos são susceptíveis ao crescimento de cepas de *Clostridium Botulinum* que podem produzir toxinas, requerendo um tratamento térmico de 115,5°C, ou maior, para obter um controle dos microrganismos. PORTO (2009) relata que a baixa acidez e um elevado teor de sólidos solúveis torna a polpa do *C. hildmaniannus* muito atraente para o crescimento microbiológico.

OLIVEIRA *et al.* (2004), estudando as características físico-químicas dos frutos do mandacaru, obtiveram teores de pH de 4,52. SILVA e ALVES (2009) em seu trabalho sobre a caracterização físico-química dos frutos de mandacaru obtiveram um valor de pH de 4,42. Essas diferenças podem ser atribuídas ao tipo de fruto e às variações climáticas do ano em que foram coletados.

Informações sobre a acidez, pH e sólidos totais (°Brix), são de fundamental importância na determinação do ponto de colheita, tanto para consumo in natura como para a seleção da matéria prima para fins industriais.

Observa-se que o teor de carboidratos totais foi semelhante ao de carboidratos redutores, sendo de 7,59 g/100g e 6,98 g/100g, respectivamente. Isto também foi observado por PORTO (2009), em que a autora sugere que isto pode ser explicado pelo fato da mucilagem ser pouco conhecida e muito complexa, semelhante às gomas. Sua caracterização e composição são dependentes da matéria prima, e pode ser composta de diferentes arranjos com diferentes monossacarídeos (KENNEDY e WHITE, 1983; MATSUSHIRO *et al.*, 2006; JIANG e

RAMSDEN, 1999). Podem ser classificadas como polissacarídeos neutros, ou ainda misturas de açúcares e proteínas. Tendo em vista que o teor de proteínas encontrado no *Cereus* é baixo (similar ao encontrado por MEDINA *et al.* (2007), acredita-se que o mesmo tenha composição acídica similar ao fruto da *Ofi* que contém 23,4% de ácidos galacturônicos, e uma proporção de 1.0:1.7:2.5:4.1 de arabinose, ramnose, xilose e galactose. A presença de carboidratos redutores confere ao fruto um grande potencial para a utilização em processos industriais.

O teor de proteínas de 1,12 g/100g foi semelhante ao encontrado por PORTO (2009) e está dentro do intervalo encontrado para a *Opuntia* (0,21-1,6 %), sendo mais alto que o da *Opuntia dillenii*. O teor de lipídeos de 0,028 g/100g foi semelhante ao encontrado por PORTO (2009) cujo valor foi 0,03 g/100g.

A quantidade de vitamina C encontrada de 0,98 mg/100 mL foi muito diferente aos valores encontrados por MEDINA *et al.* (2007) e CEREZAL e DUARTE (2007), cujos valores foram de 17,2 mg/100g e 32,44 mg/100 g, respectivamente. Essa diferença pode ser atribuída à degradação da vitamina C no decorrer do transporte e armazenamento. Essa degradação pode ocorrer em condições aeróbicas e anaeróbicas e também é destruída pela ação da luz. Sua estabilidade aumenta com o aumento da temperatura (BOBBIO e BOBBIO, 2001).

Estudos realizados por ALMEIDA *et al.* (2009) verificaram que a polpa do fruto do mandacaru é semi-ácida e pobre em vitamina C.

SILVA e ALVES (2009) observaram que a quantidade de ácido ascórbico existente na polpa apresentou média duas vezes superior à quantidade existente na casca. Verificaram-se baixos teores desse constituinte quando se compara com outras fontes. CANTWELL (2001) obteve para o cladódio da palma teor de ácido ascórbico de 11mg/100g e Lima *et al.* (2005) determinaram valores variando de 0,34 a 1,00 mg/100g em polpas de facheiro. OLIVEIRA<sup>b</sup> *et al.* (2004) estudaram as características físico-químicas da polpa do fruto do mandacaru e verificaram que ela é semi-ácida e pobre em vitamina C.

ALVES *et al.* (2008) atribui as discrepâncias entre os valores encontrados podem ser atribuídas a fatores diversos, como: metodologia analítica, cultivar, condições edafoclimáticas, método de cultivo, estágio de maturação do fruto e condições de armazenamento. Ressaltam ainda, a importância do estágio de maturação do fruto sobre a composição centesimal e mineral, principalmente do estágio verde maduro para maduro, caracterizado pelas mudanças químicas dos constituintes do fruto.

O teor de polifenóis encontrado na polpa do fruto de *C. hildmaniannus* foi de 324 mg GAL/L. Resultados inferiores foram encontrados em vários frutos tropicais silvestres avaliados por KUSKOSKI *et al.* (2006) quanto às polpas congeladas das frutas, como a da acerola, açaí e morango, onde apresentaram elevados valores com 580,1mg em EAG/100g<sup>-1</sup>, 136,8 mg em EAG/100g<sup>-1</sup> e 132,1 mg em EAG/100g<sup>-1</sup>, respectivamente. Segundo CHOI *et al.* (2002), os compostos polifenólicos são os principais responsáveis pela atividade antioxidante em frutos. A capacidade de sequestrar radicais livres é de 92,26%, sendo este valor considerado importante para futuros trabalhos visando a utilização da polpa do *C. hildmaniannus*, principalmente no que se refere a sucos e suas misturas.

Embora a vitamina C seja considerada por alguns autores como o maior contribuinte na atividade antioxidante, verifica-se que a contribuição dessa vitamina na determinação da atividade antioxidante de onze frutos é baixa, e afirmaram que a maior contribuição para a atividade antioxidante total de frutos deve-se a presença dos compostos polifenólicos (VARGAS *et al.*, 2008; SUN *et al.*, 2002).

Segundo HUANG e PRIOR (2005) os radicais livres são átomos ou moléculas altamente reativos produzidos naturalmente no organismo. Além do funcionamento normal do corpo, fatores ambientais como radiação, poluição e tabagismo, podem levar a formação de mais radicais livres, resultando em um estresse oxidativo. Esse processo pode ser prejudicial à saúde, por causar a oxidação das células, podendo desenvolver diversas patologias tais como diabetes, câncer e aterosclerose.

Os antioxidantes são substâncias que retardam a velocidade da oxidação, inibindo os radicais livres e prevenindo a formação de doenças, contribuindo, dessa maneira, para uma maior longevidade. Desta forma, torna-se essencial o equilíbrio entre os radicais livres e o sistema de defesa antioxidante. Alguns alimentos possuem substâncias com propriedades antioxidantes, capazes de combater o processo oxidativo do organismo (FERREIRA e MATSUBARA, 1997).

#### **4.3 Estudo do comportamento reológico da mucilagem da polpa do fruto do *C. hildmaniannus* submetida a diferentes tratamentos**

Como uma etapa preliminar do estudo, realizou-se um planejamento experimental para analisar o comportamento da viscosidade das soluções mucilaginosas nas diferentes temperaturas

estudadas. O primeiro passo consistiu na triagem de variáveis, onde se estudou a influência dos seguintes fatores: A) Concentração de mucilagem; B) Concentração de NaCl; C) Concentração de KCl; D) Concentração de  $\text{CaCl}_2$ ; E) Concentração de  $\text{MgCl}_2$ ; F) pH; G) Tratamento enzimático, sendo todas essas condições avaliadas em diferentes temperaturas.

As Tabelas 15 e 16 apresentam os valores de viscosidade do planejamento fatorial saturado e planejamento espelho, nas temperaturas estudadas, respectivamente, sendo estes planejamentos a triagem das variáveis.

Tabela 15 - Viscosidades (mPa.s) das amostras referente ao planejamento fatorial saturado nas temperaturas estudadas.

Ensaios	8°C	25°C	40°C	55°C	70°C	85°C
1*	2,001	1,425	1,201	1,022	0,903	0,903
2	2,020	1,457	1,201	1,000	0,919	0,815
3	1,705	1,165	1,067	0,890	0,780	0,986
4*	1,872	1,394	1,145	0,999	0,907	0,855
5	1,739	1,335	1,075	0,956	0,841	0,741
6	2,409	1,569	1,269	1,098	1,001	0,848
7	1,619	1,619	0,906	0,765	0,692	0,566
8	2,299	1,607	1,240	1,105	0,888	0,887

\* Análise realizada em duplicata, aqui apresentando apenas o valor médio dos ensaios.

Para a análise do efeito dos fatores sobre os ensaios, foram consideradas somente as viscosidades referentes às taxas de deformação que variam de  $1500 \text{ s}^{-1}$  a  $3200 \text{ s}^{-1}$  e de  $3200 \text{ s}^{-1}$  a  $1500 \text{ s}^{-1}$ .

Tabela 16 - Viscosidades (mPa.s) das amostras referente ao planejamento espelho nas temperaturas estudadas.

Ensaios	8°C	25°C	40°C	55°C	70°C
1	1,999	1,407	1,231	1,108	0,975
2	1,823	1,426	1,069	0,937	0,826
3*	2,715	1,885	1,447	1,145	1,062
4	2,009	1,536	1,286	1,093	0,945
5*	4,047	2,791	2,123	1,701	1,391
6	1,998	1,444	1,164	1,076	0,985
7	1,893	1,363	1,187	1,110	0,936
8	1,524	1,008	0,841	0,736	0,598

\* Análise realizada em duplicata, aqui apresentando apenas o valor médio dos ensaios.

Com os valores das viscosidades de cada amostra em relação às diferentes temperaturas foi possível calcular os efeitos principais, ou seja, avaliou-se o efeito de cada fator principal sobre o comportamento da viscosidade (Tabelas 17).

Tabela 17 - Efeito da concentração de mucilagem, força iônica, pH e tratamento enzimático sobre a viscosidade.

Fator	8°C			25°C		
Média	0,00239	0,00199	EP*	0,00164	0,00138	EP*
[Mucilagem] (g/L)	0,00107	0,00045	<b>0,34762</b>	0,00059	0,00026	<b>0,28231</b>
[NaCl] (%)*	0,00041	-0,00021	0,04605	0,00034	-0,00011	0,07588
[KCl] (%)*	-0,00030	0,00014	-0,03670	-0,00015	0,00008	-0,02253
[CaCl <sub>2</sub> ] (%)*	-0,00036	0,00003	-0,07499	-0,00016	0,00007	-0,03115
[MgCl <sub>2</sub> ] (%)*	0,00054	0,00030	<b>0,19261</b>	0,00040	0,00009	<b>0,16170</b>
pH	0,00094	0,00006	<b>0,22681</b>	0,00068	0,00005	<b>0,23956</b>
Trat. Enzimático	0,00064	-0,00007	0,13061	0,00040	-0,00003	0,12492
	40°C			55°C		
Média	0,00125	0,00109	EP*	0,00104	0,00089	EP*
[Mucilagem] (g/L)	0,00049	0,00017	<b>0,28319</b>	0,00036	0,00018	<b>0,27785</b>
[NaCl] (%)*	0,00020	-0,00009	0,04583	0,00018	-0,00008	0,04874
[KCl] (%)*	-0,00011	0,00000	-0,04596	-0,00009	0,00005	-0,02572
[CaCl <sub>2</sub> ] (%)*	-0,00017	0,00004	-0,05530	-0,00011	0,00008	-0,01893
[MgCl <sub>2</sub> ] (%)*	0,00028	0,00013	<b>0,17171</b>	0,00018	0,00009	<b>0,14084</b>
pH	0,00051	0,00001	<b>0,21837</b>	0,00036	0,00000	<b>0,18500</b>
Trat. Enzimático	0,00019	0,00002	0,08976	0,00010	0,00000	0,05048
	70°C			85°C		
Média	0,00090	0,00080	EP*	0,00079	0,00085	EP*
[Mucilagem] (g/L)	0,00031	0,00013	<b>0,25424</b>	0,00021	-0,00011	<b>0,06562</b>
[NaCl] (%)*	0,00014	-0,00006	0,05067	0,00008	0,00015	0,14539
[KCl] (%)*	-0,00004	-0,00004	-0,04567	0,00000	-0,00034	-0,20517
[CaCl <sub>2</sub> ] (%)*	-0,00004	0,00002	-0,01490	-0,00005	0,00000	-0,03363
[MgCl <sub>2</sub> ] (%)*	0,00016	0,00003	<b>0,11299</b>	0,00013	0,00029	<b>0,25797</b>
pH	0,00030	-0,00002	<b>0,16603</b>	0,00030	-0,00014	<b>0,09469</b>
Trat. Enzimático	0,00009	-0,00004	0,02977	0,00005	0,00009	0,08507

\* EP: Efeito Principal

Pela magnitude dos valores encontrados, pode-se avaliar para os efeitos principais, que os fatores de maior magnitude, e, portanto mais significativos, em todas as amostras, foram a concentração de mucilagem, seguida do pH e da concentração de MgCl<sub>2</sub>, sendo estas variáveis as que mais tem influência no aumento da viscosidade das

soluções mucilaginosas. O tratamento enzimático mostra influência significativa apenas para as temperaturas de 8°C e 25°C. As demais variáveis apresentam influência suficientemente pequenas para poderem ser consideradas significativas.

Os fatores KCl e CaCl<sub>2</sub> apresentam como efeito uma diminuição da viscosidade, já o NaCl apresentou efeito significativo sobre o aumento da viscosidade apenas a 85°C. Os fatores que apresentaram menor influência sobre o aumento da viscosidade, ou seja, que podem ser considerados menos significativos foram fixados valores mínimos, sendo estes valores fixados como zero (NaCl, KCl, CaCl<sub>2</sub>) ou não adicionados nas amostras, como o tratamento enzimático. Dessa forma, esses fatores foram fixados valores mínimos, por serem mais econômicos e/ou convenientes para todos os ensaios de otimização. Sendo assim, foram considerados apenas aqueles que apresentaram maior grau de significância, sendo, portanto avaliados o efeito dos das variáveis concentração de mucilagem, pH e concentração de cloreto de magnésio.

De acordo com VANDRESEN (2007), a viscosidade depende do grau de polimerização e esterificação das substâncias pécicas, além do pH, de compostos eletrolíticos e da concentração do meio de suspensão.

SAÉNZ<sup>b</sup> e colaboradores (1992), pensando no uso da mucilagem como aditivo alimentar, fizeram um estudo preliminar da influência do pH no comportamento reológico de dispersões de mucilagem obtido da casca de frutos da *Ofi*. Os autores observaram que a viscosidade da dispersão de mucilagem aumentou com o aumento do pH, atingindo um máximo em pH 6,6 com um valor próximo de 60 (mPa.s). MEDINA-TORRES<sup>a</sup> *et al.* (2000), observaram um comportamento não newtoniano das soluções de mucilagem dos cladódios da *Opuntia*. Também observaram um aumento considerável na viscosidade com o aumento da concentração de mucilagem.

A Tabela 18 mostra os valores de viscosidade para o planejamento estrela, realizado com as variáveis que apresentaram um efeito positivo sobre a viscosidade das soluções mucilaginosas. Pode-se observar que, para todas as diferentes amostras, um aumento na temperatura refletiu na diminuição da viscosidade. Este comportamento está de acordo com HASSAN e HOBANI (1998), que citam que com o aumento da temperatura, a energia térmica e as distâncias moleculares aumentam devido à redução das forças intermoleculares, pois associado ao aumento da temperatura, tem-se um aumento na tensão de cisalhamento, o que faz com que as partículas se reorganizem em direções paralelas, ocorrendo a quebra em partículas menores. Deste modo, as

mesmas podem escoar mais facilmente, como um resultado da diminuição da interação partícula-partícula, a qual resulta na diminuição da viscosidade.

Tabela 18 - Médias e desvios das viscosidades (mPa.s) para as amostras em função da temperatura.

Ensaio	8°C	15°C	30°C	45°C	60°C	70°C
1	2,160±0,504 <sup>a</sup>	1,174±0,296 <sup>a</sup>	1,532±0,120 <sup>a</sup>	1,225±0,225 <sup>a</sup>	1,138±0,214 <sup>a</sup>	1,133±0,438 <sup>a</sup>
2	2,712±0,407 <sup>a</sup>	2,258±0,148 <sup>a</sup>	1,639±0,177 <sup>b</sup>	1,579±0,298 <sup>b</sup>	1,260±0,296 <sup>b</sup>	1,119±0,155 <sup>b</sup>
3	2,082±1,677 <sup>a</sup>	1,677±0,221 <sup>a</sup>	1,204±0,220 <sup>b</sup>	1,008±0,301 <sup>b</sup>	0,905±0,233 <sup>b</sup>	0,899±0,017 <sup>b</sup>
4	3,304±0,290 <sup>a</sup>	2,897±0,409 <sup>a</sup>	2,170±0,272 <sup>b</sup>	1,677±0,123 <sup>b</sup>	1,209±0,272 <sup>b</sup>	1,205±0,024 <sup>b</sup>
5	2,383±0,260 <sup>a</sup>	2,026±0,242 <sup>a</sup>	1,534±0,418 <sup>b</sup>	1,163±0,322 <sup>b</sup>	0,892±0,231 <sup>b</sup>	0,937±0,088 <sup>b</sup>
6	2,836±0,273 <sup>a</sup>	2,424±0,341 <sup>a</sup>	1,940±0,339 <sup>b</sup>	1,642±0,448 <sup>b</sup>	1,587±0,309 <sup>b</sup>	1,583±0,067 <sup>b</sup>
7	2,125±0,312 <sup>a</sup>	1,784±0,242 <sup>a</sup>	1,358±0,138 <sup>b</sup>	1,071±0,160 <sup>b</sup>	0,891±0,206 <sup>b</sup>	0,996±0,105 <sup>b</sup>
8	2,844±0,413 <sup>a</sup>	2,377±0,227 <sup>a</sup>	1,787±0,276 <sup>b</sup>	1,554±0,276 <sup>b</sup>	1,332±0,037 <sup>b</sup>	1,150±0,069 <sup>b</sup>
9	2,279±0,363 <sup>a</sup>	1,795±0,159 <sup>a</sup>	1,471±0,127 <sup>b</sup>	1,153±0,191 <sup>b</sup>	0,970±0,295 <sup>b</sup>	1,146±0,200 <sup>b</sup>
10	3,584±0,127 <sup>a</sup>	3,097±0,270 <sup>a</sup>	2,366±0,328 <sup>b</sup>	1,762±0,177 <sup>b</sup>	1,464±0,061 <sup>b</sup>	1,407±0,081 <sup>b</sup>
11	4,466±0,489 <sup>a</sup>	4,017±0,004 <sup>a</sup>	2,824±0,273 <sup>b</sup>	2,208±0,263 <sup>b</sup>	1,784±0,247 <sup>b</sup>	1,647±0,334 <sup>b</sup>
12	2,780±0,214 <sup>a</sup>	2,270±0,231 <sup>b</sup>	1,897±0,083 <sup>c</sup>	1,322±0,173 <sup>c</sup>	1,113±0,217 <sup>c</sup>	1,165±0,079 <sup>c</sup>
13	1,843±0,360 <sup>a</sup>	1,613±0,372 <sup>ab</sup>	1,235±0,324 <sup>ab</sup>	1,176±0,076 <sup>b</sup>	1,092±0,023 <sup>b</sup>	1,375±0,128 <sup>ab</sup>
14	2,318±0,386 <sup>a</sup>	2,048±0,404 <sup>ac</sup>	1,450±0,134 <sup>ab,c</sup>	1,208±0,200 <sup>b,c</sup>	0,971±0,162 <sup>b</sup>	1,442±0,527 <sup>ab,c</sup>
15	3,153±0,292 <sup>a</sup>	2,622±0,386 <sup>a</sup>	1,980±0,159 <sup>b</sup>	1,501±0,184 <sup>b</sup>	1,203±0,233 <sup>b</sup>	1,242±0,110 <sup>b</sup>
16	2,856±0,234 <sup>a</sup>	2,599±0,211 <sup>a</sup>	1,956±0,313 <sup>b</sup>	1,400±0,123 <sup>b</sup>	1,234±1,189 <sup>b</sup>	1,154±0,087 <sup>b</sup>
17	2,862±0,459 <sup>a</sup>	2,465±0,293 <sup>a</sup>	1,822±0,210 <sup>b</sup>	1,324±0,242 <sup>b</sup>	1,302±0,213 <sup>b</sup>	1,326±0,381 <sup>b</sup>
18	3,033±0,275 <sup>a</sup>	2,505±0,394 <sup>a</sup>	1,826±0,274 <sup>b</sup>	1,340±0,189 <sup>b</sup>	1,131±0,374 <sup>b</sup>	0,920±0,291 <sup>b</sup>

\* Médias seguidas de letras diferentes diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Duncan a 5 % de significância.

Para avaliar se houve diferenças significativas da viscosidade nas diferentes temperaturas realizou-se o teste de Duncan a um nível de 5% de significância. Assim o ajuste aos diferentes modelos reológicos pode ser feito em classes de temperaturas que não apresentam diferença estatística entre seus dados.

É importante salientar que a escolha do teste estatístico de Duncan se deve ao fato do mesmo ser mais sensível à variabilidade dos dados e ter a capacidade de encontrar diferenças significativas onde outros testes não encontrariam.

Segundo HOLDSWORTH (1971), a maioria dos fluidos alimentícios apresenta comportamento pseudoplástico, cuja viscosidade aparente decresce com o aumento da taxa de deformação.

Encontram-se na literatura trabalhos sobre a influência das variáveis estudadas sobre polímeros naturais. PINTO *et al.* (2002) ao estudarem a influência do pH e adição de sais na viscosidade dos

biopolímeros produzidos por *Beijerinckia* sp. 7070 e UR4, observaram que em pH 7,0 e 3,0 a viscosidade dos biopolímeros diminuiu, enquanto que em pH 5,0 a viscosidade não foi alterada. Além disso, observaram que a adição de  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{KCl}$  na faixa de pH estudada (3,0 a 7,0) diminuíram a viscosidade, não sendo recomendada a adição desses sais.

PETTIT (1982) observou que a adição de sal nas concentrações de 0,1% a 1,0% não alteraram a viscosidade das soluções de xantana.

SANDFORD (1982) mostrou que não apenas o  $\text{CaCl}_2$  mas também outros sais como  $\text{NaCl}$ ,  $\text{MgCl}_2$  e  $\text{FeCl}_2$  quando adicionados nas concentrações 1, 3, 5, 10, 15 e 20% em soluções a 0,5% de scleroglucana aumentaram a viscosidade destas soluções.

Em um estudo realizado por MEDINA – TORRES<sup>a</sup> *et al.* (2000) , os autores evidenciaram que o efeito da força iônica sobre a viscosidade da mucilagem da *Ofi* é importante não somente para determinar se a mucilagem se comporta como um polieletrólito, mas também para estimar reologicamente suas propriedades funcionais. De acordo com os autores, moléculas carregadas apresentam viscosidade dependente da força iônica. Os resultados desse trabalho mostraram que a redução da viscosidade é dependente mais fortemente de íons  $\text{Ca}^{++}$  e  $\text{Mg}^{++}$  do que em  $\text{Na}^+$  ou  $\text{K}^+$ . Em relação ao pH, estes mesmos autores observaram que um aumento do pH provoca um aumento nos valores de viscosidade, ou seja, na região alcalina a viscosidade é maior que na região ácida. Resultados semelhantes foram encontrados por TRACHTENBER e MAYER (1982) ao observarem que um aumento do pH acarretava no aumento da viscosidade. MEDINA–TORRES<sup>a</sup> *et al.* (2000) e TRACHTENBER e MAYER (1982) ressaltam que ambos fatores, pH e força iônica, afetam a hidrodinâmica e, assim, as propriedades de fluxo da mucilagem. Sendo essas propriedades um resultado das mudanças conformacionais na molécula, os mesmos devem ser levados em conta para determinar as propriedades funcionais da mucilagem.

Trabalhos realizados por MEDINA-TORRES<sup>b</sup> e colaboradores (2006), onde foram estudadas as propriedades reológicas da mucilagem do cladódio da *Ofi*, mostraram que em baixas concentrações de mucilagem (menores que 3%) seu comportamento é típico de uma solução diluída. No entanto, com o aumento da concentração, a solução mostrou comportamento de um gel fraco. Além disso, relataram que as propriedades viscosas da mucilagem são dependentes da força iônica. Assim, um aumento na concentração de sal resultou em uma diminuição da viscosidade, como esperado para polieletrólitos, sendo que a redução na viscosidade é mais dependente de  $\text{Ca}^{++}$  e  $\text{Mg}^{++}$  do que  $\text{Na}^+$  ou  $\text{K}^+$ .

Na descrição do comportamento reológico, foi utilizado um modelo empírico para relacionar os dados de tensão de cisalhamento com a taxa de deformação. Os modelos reológicos mais citados nas referências bibliográficas para a caracterização reológica de sucos e polpas de frutas são: Lei da Potência, *Bingham*, *Herschel-Bulkley*, *Casson* e *Mizrahi-Berk*. Dentre estes modelos, o de *Mizrahi-Berk* é o que melhor tem se ajustado à maioria dos reogramas das polpas, sucos e purês de frutas, uma vez que os autores o desenvolveram baseando-se no modelo de uma suspensão de partículas interagindo em um solvente pseudoplástico (PELEGRINE *et al.*, 2000).

Com base nesses resultados, os dados reológicos obtidos para cada amostra foram ajustados ao modelo de *Mizrahi-Berk* para a caracterização do comportamento de cada amostra. As Tabelas 19, 20 e 21 mostram os resultados dos parâmetros reológicos após ajuste do modelo para as diferentes composições de amostras.

Tabela 19 - Parâmetros reológicos do modelo de *Mizrahi-Berk*, ajustado aos resultados das soluções mucilaginosas para as temperaturas de 8°C e 15°C.

$$\tau^{1/2} = K_{OM} + K_M \cdot \dot{\gamma}^{n_M}$$

Ensaio	8°C				15°C			
	$K_{OM}$	$K_M$	$n_M$	R	$K_{OM}$	$K_M$	$n_M$	R
1	0,6531	0,0062	0,7140	0,9801	0,3575	0,0142	0,6174	0,9576
2	0,7167	0,0054	0,7445	0,9880	0,0581	0,0464	0,4999	0,9839
3	0,1362	0,0319	0,5379	0,9654	0,2757	0,0136	0,6258	0,9650
4	0,4493	0,0354	0,5350	0,9901	0,1943	0,0609	0,4702	0,9874
5	-0,2070	0,0973	0,4198	0,9751	0,5185	0,0071	0,7013	0,9569
6	0,1061	0,5589	0,4866	0,9882	0,6671	0,0056	0,7345	0,9714
7	0,3661	0,0140	0,6290	0,9771	0,5755	0,0049	0,7302	0,9655
8	0,3123	0,0366	0,5254	0,9746	0,3635	0,0179	0,6035	0,9649
9	0,5922	0,0064	0,7172	0,9756	-0,0785	0,0485	0,4898	0,9789
10	0,1710	0,0561	0,4942	0,9874	0,3075	0,0453	0,5052	0,9833
11	0,6271	0,0466	0,5034	0,9908	0,4808	0,0432	0,5102	0,9878
12	0,4179	0,0218	0,5856	0,9797	0,3982	0,0182	0,5970	0,9824
13	0,2216	0,0349	0,5135	0,9617	0,3239	0,0101	0,6549	0,9718
14	0,2535	0,0382	0,5109	0,9804	0,1715	0,0132	0,5286	0,9589
15	0,4584	0,0289	0,5554	0,9857	0,5213	0,0160	0,6145	0,9859
16	0,3133	0,0424	0,5099	0,9749	0,4887	0,0140	0,6318	0,9691
17	0,5316	0,0200	0,5905	0,9849	0,5913	0,0108	0,6527	0,9726
18	0,4077	0,0381	0,5177	0,9880	0,5261	0,0132	0,6349	0,9731

O modelo de *Mizrahi-Berk* mostrou bom ajuste aos resultados experimentais tendo em vista que os valores de  $R^2$  encontrados são maiores que 0,95.

O caráter pseudoplástico é configurado pelos valores do índice de comportamento ( $n_M$ ), que estão abaixo da unidade. Esses valores indicam o grau de pseudoplasticidade de polpas de frutas, sendo que quanto mais afastado da unidade, maior a pseudoplasticidade do produto (SILVA, 2000).

Tabela 20 - Parâmetros reológicos do modelo de *Mizrahi-Berk*, ajustado aos resultados das soluções mucilaginosas para as temperaturas de 30°C e 45°C.

$$\tau^{1/2} = K_{OM} + K_M \cdot \gamma^{n_M}$$

Ensaio	30°C				45°C			
	$K_{OM}$	$K_M$	$n_M$	R	$K_{OM}$	$K_M$	$n_M$	R
1	0,5456	0,0023	0,8768	0,9530	0,6616	0,0002	1,1172	0,9387
2	-0,0335	0,0572	0,4587	0,9736	0,4126	0,0047	0,7271	0,9571
3	0,4775	0,0040	0,7419	0,9650	0,6005	0,0006	0,9582	0,8816
4	0,1302	0,0525	0,4719	0,9873	0,3047	0,0185	0,5761	0,9647
5	0,4766	0,0089	0,6516	0,9502	0,6051	0,0007	0,9471	0,9314
6	0,6369	0,0026	0,8098	0,9702	0,4768	0,0020	0,8383	0,9564
7	0,6611	0,0005	0,9999	0,9620	0,3517	0,0033	0,7637	0,9429
8	0,0922	0,0514	0,4671	0,9679	0,4115	0,0049	0,7333	0,9562
9	0,1478	0,0155	0,6067	0,9474	0,0695	0,0245	0,5404	0,9144
10	0,4229	0,0259	0,5472	0,9863	0,5639	0,0029	0,7991	0,9513
11	0,5741	0,0239	0,5586	0,9743	0,4139	0,0317	0,5152	0,9587
12	0,6255	0,0046	0,7284	0,9423	0,4125	0,0035	0,7712	0,9662
13	0,4607	0,0029	0,7789	0,9383	0,1740	0,0051	0,7303	0,9662
14	0,1251	0,0321	0,5121	0,9483	0,1270	0,0166	0,5867	0,9335
15	0,1256	0,0401	0,5023	0,9746	0,5506	0,0035	0,7633	0,9362
16	0,5505	0,0056	0,7190	0,9361	0,2496	0,0179	0,5764	0,9218
17	0,2151	0,0330	0,5141	0,9741	0,4034	0,0148	0,5212	0,9614
18	0,2557	0,0295	0,5256	0,9691	0,3579	0,0101	0,6349	0,9499

Não foi encontrada uma tendência definida para os índices de consistência ( $K_M$ ) e comportamento do fluido ( $n_M$ ) com o aumento da temperatura. Os valores de índice de comportamento ( $n_M$ ) para purês de frutas situam-se, em sua maioria, na faixa de 0,30 a 0,50 e a variação desse parâmetro é função de diversas variáveis, tais como: variedade, processamento, grau de maturação e método de determinação dos parâmetros reológicos (HOLDSWORTH, 1971).

Tabela 21 - Parâmetros reológicos do modelo de *Mizrahi-Berk*, ajustado aos resultados das soluções mucilaginosas para as temperaturas de 60°C e 70°C.
$$\tau^{1/2} = K_{OM} + K_M \cdot \dot{\gamma}^{n_M}$$

Ensaio	60°C				70°C			
	$K_{OM}$	$K_M$	$n_M$	R	$K_{OM}$	$K_M$	$n_M$	R
1	0,1659	0,0057	0,7092	0,9586	0,6784	0,0001	1,1694	0,9550
2	-0,3293	0,0180	0,600	0,9602	0,9554	0,0002	1,0521	0,9697
3	0,3068	0,0046	0,7165	0,9116	0,4059	0,0006	0,9587	0,8792
4	0,4136	0,0006	0,6805	0,9497	0,2889	0,0046	0,7281	0,9612
5	0,6436	0,0001	1,3033	0,9398	0,6327	0,0001	1,1470	0,8933
6	0,5374	0,0007	0,9594	0,9631	0,9738	0,0003	1,0411	0,9439
7	0,1149	0,0142	0,5894	0,9316	0,0560	0,0158	0,5822	0,9380
8	0,3576	0,0025	0,8104	0,9655	-0,0364	0,0081	0,6863	0,9614
9	0,3889	0,0024	0,7949	0,9391	0,2090	0,0066	0,6799	0,9532
10	0,4642	0,0031	0,7851	0,9695	0,4405	0,0017	0,7851	0,9744
11	0,3365	0,0295	0,5162	0,9720	0,2451	0,0518	0,4395	0,9367
12	0,3409	0,0036	0,7602	0,9496	0,3631	0,0022	0,8186	0,9312
13	0,8613	0,0011	0,8623	0,9032	-2,7374	0,5527	0,2573	0,8957
14	0,2316	0,0047	0,7289	0,8899	0,1262	0,0075	0,6795	0,9665
15	0,4782	0,0029	0,7729	0,9431	0,2766	0,0035	0,7639	0,9651
16	0,2919	0,0124	0,6060	0,9163	0,5005	0,0015	0,8515	0,8996
17	0,2760	0,0189	0,5531	0,9614	0,2760	0,0189	0,5531	0,9562
18	0,3594	0,0143	0,5718	0,9319	0,3766	0,0029	0,7691	0,8961

TANGLERTPAIBUL E RAO (1987) mostraram que o comportamento reológico de polpas de frutas está relacionado aos teores de sólidos em suspensão em função da forma, tamanho, concentração das partículas suspensas e da estrutura do sistema.

A temperatura é um dos fatores que mais afeta a viscosidade das polpas de frutas, visto que a maioria destas apresentam-se na forma de sólidos dispersos em meios líquidos. Um aumento da temperatura neste caso faz com que a viscosidade da fase líquida diminua, aumentando o movimento das partículas em suspensão, causando um decréscimo na viscosidade (PELEGRINE, 1999).

Segundo KROKIDA *et al.* (2001), a temperatura tem um maior efeito no índice de consistência ( $K$ ) em fluidos alimentícios não-newtonianos, sendo que o índice de comportamento ( $n$ ) é afetado de forma moderada pela temperatura, mostrando um pequeno aumento em temperaturas elevadas.

## 5. CONCLUSÕES

Utilizando planejamento experimental, pode-se observar que a variável que exerce maior influência sobre a extração da mucilagem da polpa de *C. hildmaniannus* é o pH, seguido da proporção em massa de polpa/água, com uma baixa influência da temperatura. Essa situação é vantajosa, no sentido de que para realizar a extração não são necessárias condições drásticas de pH e temperatura, facilitando e barateando o processo. A utilização de etanol como agente precipitante mostrou-se eficiente no rendimento do produto final, permitindo a obtenção do produto de uma forma simples e economicamente viável.

Pode-se sintetizar os resultados afirmando que rendimentos maiores são obtidos a pHs próximos ao neutro, em temperatura ambiente e pouca adição de água. A agitação foi um fator que não teve influência, e baixos valores podem ser usados sem prejuízo do processo.

Os resultados da caracterização físico-química da polpa do *C. hildmaniannus* são similares às de frutos consumidos e comercializados mundialmente de *Opuntia*. Além disso, algumas quantidades de nutrientes encontrados no *Cereus* podem ser comparadas a outras frutas tropicais, razão interessante para futuros trabalhos visando à aplicação desse fruto na indústria alimentícia. Quantidades de compostos polifenólicos observados destacam esse fruto por sua capacidade antioxidante, podendo ser utilizado principalmente para sucos.

Observou-se também que os fatores que tiveram efeito significativo e resultaram em um aumento da viscosidade foram a concentração de mucilagem, seguido do pH e cloreto de magnésio. Além disso, observou-se que, para todas as diferentes amostras, um aumento na temperatura refletiu na diminuição da viscosidade. O modelo de *Mizrahi-Berk* mostrou bom ajuste aos resultados experimentais tendo em vista que os valores de  $R^2$  encontrados foram maiores que 0,95, sendo este modelo o mais adequado a reogramas de polpas e sucos de frutas. Os valores de índice de comportamento abaixo de 1 comprovam o caráter pseudoplástico das amostras.



## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, M.M.; SILVA, F.L.H.; CONRADO, L.S.; FREIRE, R.M.M.; VALENÇA, A.R. Caracterização física e físico-química de frutos do mandacaru. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.11, n.1, p.15-20, 2009.

ALVES, M.A.; SOUZA, A.C.M.; GAMARRA-ROJAS, G.; GUERRA, N.B. Fruto de Palma [Opuntia fícus-indica (L) Miller, Cactaceae]: morfologia, composição química, fisiologia, índices de colheita e fisiologia pós-colheita. **Rev. Iber. Tecnología Postcosecha** v.9, p.16-25, 2008.

ALVARADO, J.D.; AGUILERA, J.M. **Métodos para medir Propriedades Físicas em Indústrias de Alimentos**. Ed. Acribia S.A. Zaragoza, 2001. 410p. MACOSKO, C.W. **Rheology: Principles, Measurements and Applications**, VCH Publishers, New York, NY, 1994.

ARAÚJO, W.M.C.; MONTEBELLO, N.D.P.; BOTELHO, R.B.A.; BORGIO, L.A. **Alquimia dos alimentos**. v.2, Série Alimentos e Bebidas. Brasília: Editora Senac, 560 p., 2009.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official Methods of Analysis of A.O.A.C. International**. 16<sup>a</sup> ed., Arlington, Virgínia, VA, v.2, 1997.

BARBOSA-CÁNOVAS, G.V.; IBARZ, A.; PELEG, M. Propriedades reológicas de alimentos fluidos. Revisão. **Alimentaria**, n. 241, p.39-49, 1993.

BARNES, H. A.; HUTTON, J. F.; WALTERS, K. An introduction to Rheology. Amsterdam: **Elsevier Science Publishers**, 199p., 1989.

BARROS-NETO, B.; SCARMINIO, I.S.; BRUNS, R.E. **Planejamento Experimental e Otimização de Experimentos**, 2<sup>a</sup> ed., Campinas: Unicamp, 299p., 1996.

BARTHELMES, G.; PRATSINIS, S. E.; BUGGISCH, H. Particle size distributions and viscosity of suspensions undergoing shear-induced

coagulation and fragmentation. **Chemical Engineering Science**, v.58, p.2893-2902, 2003.

BARTHLOTT, W; HUNT. DR. Cactaceae. In: The families and genera of vascular plants, v. **II flowering plants – Dicotyledons**. KUBIZTKI, K; ROHWER, JG; BITTRICH, V. Berlin: Springer-Verlag, p. 161-197, 1993.

BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M. N. Fatores que condicionam a estabilidade de alimentos. In: BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M. N. **Fundamentos de tecnologia de alimentos**. São Paulo: Atheneu. v.3, p.13-25, 1998.

BOBBIO, P.A.; BOBBIO, F.O. **Química do processamento de alimentos**. 3ª ed. São Paulo, 2001.

BRADFORD, M.M. A dye binding assay for protein. **Anal. Biochem.** v.72, p.248-254, 1976.

BRANCO, I.G. **Estudo do comportamento reológico de misturas ternárias com manga, laranja e cenoura**. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, 2001.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M.E.; BERSET, C. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. **Lebensm. Wiss. Technol.**, v.28, p.25-30, 1995.

BRITTON, N.; ROSE, J. The Cactaceae: descriptions and illustrations of plants of the cactus family. V. I e II. NY: **Dover Publications**. p. 3-23; 197-209, 1919.

BRUXEL, J; JASPER, A. A família Cactaceae na Bacia Hidrográfica do Rio Taquari, RS, Brasil. **Acta bot. bras.** 19(1): 71-79. 2005.

**Cactiguide.com**. [online] Disponível em: <[http://cactiguide.com/piclocation\\_display/?locnumber=1&location=My%20Collection,%20San%20Clemente,%20CA](http://cactiguide.com/piclocation_display/?locnumber=1&location=My%20Collection,%20San%20Clemente,%20CA)> . Acesso em 25 de julho de 2011.

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

CANTWELL, M. Manejo pós-colheita de frutas e verduras de palma forrageira. In: BABERA, G.; INGLESE, P.; BARRIOS, E. P. **Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira**. Paraíba: SEBRAE, p.140-146, 2001.

CÁRDENAS, A.; HIGUERA-CIAPARA, I.; GOYCOOLEA, F. Rheology and aggregation of cactus (*Opuntia ficus indica*) mucilage in solution. Journal of the Professional Association for Cactus Development, v.2, p.152–157, 1997.

CASSON, N. “A flow equation for pigment-oil suspensions of the printingink type, in rheology of disperse suspensions” C. C. Mill (ed), **Pergaman press**, New York, p.613, 1959.

CEREZAL P., CASTRO E. and DUARTE G. A research note on rheological behavior of some processed products from cactus pear (*Opuntia ficus-indica* [L.] mill.). **Journal of Texture Studies**, v.38, p.738-754, 2007.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: ESAL-FAEPE, 320p., 1990.

CHOI, Y. H.; YOO, B. Characterization of time-dependent flow properties of food suspensions. **International Journal of Food Science and Technology**, v.39, p. 801- 805, 2004.

COELHO, R. R. P.; FERREIRA-NETO, C. J.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. **Características físicas e físico-químicas do fruto da palma cultivado na região do Curimataú Paraibano**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 19., 2004, Recife. Anais eletrônicos. 2004. CD-ROM.

COSTA, L. T. **Características físicas e físico-químicas do óleo de duas cultivares de mamona**. **Campina Grande, 2006**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, 112 p.

CUNHA<sup>a</sup>, P.L.R.; PAULA, R.C.M.; FEITOSA, J.P.A. Polissacarídeos da biodiversidade brasileira: uma oportunidade de transformar conhecimento em valor econômico. **Química Nova**, v.l. XY, p.1-12, 2009.

CUNHA<sup>b</sup>, M. A. A.; GOMÉZ, R. J. H. C.; AMORIM, E. S. Goma curdlana: um importante hidrocolóide microbiano. **Semina: Ciências agrárias**, v. 24, p.379-384, 2003.

DAVET, A. **Estudo fitoquímico e biológico do cacto – *Cereus jamacaru* de Candolle, Cactaceae**. Curitiba, 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Setor de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Paraná, 121p.

DEMIATE, I.M.; WOSIACKI, G.; CZELUSNIAK, C.; NOGUEIRA, A. Determinação de açúcares redutores e totais em alimentos. Comparação entre método colorimétrico e titulométrico. **Exact and Soil Sciences, Agrarian S. and Engineering**, v.8, p.65-78, 2002.

DUBOIS, M.; GILLES, K.A.; HAMILTON, J.K.; REBERS, P.A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, v.28, p.350-428, 1956.

DURLI, M. **Caracterização e distribuição das populações de *Cereus hildmannianus* no município de Zortéa/SC**. Trabalho de conclusão de curso, 2007.

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. **J. PACD**, Ismailia, Egypt, 2006.

FERREIRA, L. A.; MATSUBARA, L. S. Radicais livres: conceitos, doenças relacionadas, sistema de defesa e estresse oxidativo. **Rev. Ass. Med. Brasil**, v.43, n.1, p.61-68, 1997.

FOGAÇA, J.; ZANCO, J. J. **Levantamento da família Cactaceae em ambiente de restinga, município de Jaguaruna – SC**. UNISUL.

GALATI, E.M.; MONFORTE, M.T.; MICELI, N.; MONDELLO, M.R.; TAVIANO, M.S.; GALLUZZO, M.; TRIPODO, M.M. *Opuntia ficus*

*indica* (L.) Mill. Mucilages show Cytoprotective effect on gastric mucosa in rat. **Phytother Res.** v.21, 344–346 (2007).

GIRISH, K. J.; DHIREN, P.S.; VIPUL, D.P.; VINEET, C.J. Gums and mucilages: versatile excipients for pharmaceutical formulations. **Gums and mucilages/Asian Journal of Pharmaceutical Sciences**, p. 309-323, 2009.

GOLDSTEIN, G., ANDRADE, J.L., NOBEL, P. Differences in water relations parameters for the chlorenchyma and parenchyma of *Opuntia ficus indica* under wet Versus dry conditions. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 18, p.95–107, 1991.

GULMUS, S. A.; YILMAZER, U. Effect of volume fraction and particle size on wall slip in flow of polymeric suspensions. **Journal of Applied Polymer Science**, v.98, p.439-448, 2005.

HASSAN, B.H. & HOBANI, A.I. Flow properties of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extract. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v.35, n.4, p.459-470, 1998.

HERNÁNDEZ-URBIOLA, PÉREZ-TORRERO, RODRÍGUEZ-GARCÍA. Chemical Analysis of Nutritional Content of Prickly Pads (*Opuntia ficus indica*) at Varied Ages in an Organic Harvest. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, v.8(5), p.1287-1295, 2011;

HOLDSWORTH, S. D. Applicability of rheological models to the interpretation of flow and processing behaviour of fluid food products. **Journal of Texture Studies**, v.2, n.4, p.393-418, 1971.

HUANG, Q.; LI, W.; GU, M.; CHEN, P.; ZHANG, H.; JIN, Y. Effect of blend ratio on rheological properties of aqueous SiC suspensions. **Journal of the European Ceramic Society**, v.24, p. 2157-2161, 2004.  
IBARZ, A.; GONÇALES, C.; EXPLUGAS, L. M. Rheology, of clarifield passion fruit juices. **Fruit Processing**, v.6, n.8, p.330-333, 1996.

INGLESE, P. Plantação e manejo do pomar. **In: Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira**. Traduzido por SEBRAE/PB. João Pessoa: SEBRAE/PB, p.79-93, 2001.

ITURRIAGA<sup>a</sup>, L.; SÁNCHEZ, S.; CORVALÁN, M. **Solubility solubility of dispersions of opuntia ficus-indica**. VI International Congress on Cactus Pear and Cochineal, **João Pessoa, Paraíba, Brasil, 2007**.

ITURRIAGA<sup>b</sup>, L.; SÁNCHEZ, S.; CORVALÁN, M. **Solubility of Dispersions of Opuntia ficus-indica**. ICQ - FAA – Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE) Santiago del Estero, Argentina, 2009.

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

JIANG, G.; RAMSDEN, L., Characterization and yield of the arabinogalactan protein mucilage of tarocorms, **Journal of the Science of Food and Agriculture**. p.79-671, 1999.

KENNEDY, J., WHITE, C.A. **Bioactive Carbohydrates: In Chemistry, Biochemistry and Biology**. Ellis Horwood Ltd. Chichester, 1983.

KROKIDA, M.K.; MAROULIS, Z.B.; SARAVACOS, G.D. Rheological properties of fluid fruit and vegetable puree products: compilation of literature data. **International Journal of Food Properties**, v.4, n.2, p.179-200, 2001.

KIESLING, R. Cactaceas de la Argentina Promisorias Agronomicamente. **Journal of the Professional Association for Catus Development**, 2001. Disponível em: < [www.jpacd.org](http://www.jpacd.org) >. Acesso em 25 de julho de 2011.

KIESLING R., FERRARI O. **100 cactus argentinos: guia de identificação**, Buenos Aires: Albatros, 2005.

KUSKOSKI, M. K *et al.* Frutos tropicais silvestres e polpas de frutas congeladas: atividade antioxidante, polifenóis e antocianinas. **Rev. Ciênc. Rural**, v.36, n.4, p.1283-1287, 2006.

LAPASIN, R.; PRICL, S. **Rheology of industrial polysaccharides – theory and applications**. Gaithersburg: Aspen Publishers. 620p., 1999.

LENZI, M.; SOARES, J.; ORTH, A. I.. Predação de *Opuntia monacantha* (Willd.) Haw. (Cactaceae) por *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae) em restingas da Ilha de Santa Catarina, sul do Brasil. **Biotemas**, v. 19 (3), p. 35-44, 2006.

LEWIS, M.J. **Propriedades físicas dos alimentos y de los sistemas de procesado**. 1 Ed. Acribia: Zaragoza, 1993.

LÓPEZ, E. **Utilización de productos naturales en la clarificación de águas para consumo humano**. Cuba, 2000. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia Química. ISPJAE. Universidade de Havana.

LORENZI, *et al.* Plantas brasileiras e exóticas cultivadas: (de consumo *in natura*). **Nova Odessa: Plantarum**, 2006.

LORENZO-CÁCERES, J. M. S. **Árboles y arbustos de bajo consumo en agua: un mundo de posibilidades**. Seminario Jardinería pública y sostenibilidad. Nuevos retos para el siglo XXI. Universidad Internacional Menéndez Pelayo. Cuenca. 12-14 septiembre 2007.

LIMA, E. E. *et al.* Estudo das polpas do facheiro em função da parte do ramo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 34, 2005, Canoas. **Anais**. Canoas: SBEA, 2005. p. 34. CD-ROM.

MACOSCO, C. W. **Reology: principles, Measurements and applications**. Minneapolis, VCH publishers, inc., 1994.

MAGALHÃES, A. C. T. V. **Estudo de fibras vegetais, mucilagem de cacto e gesso em componentes multiconstrutivos**. Brasília, 2009. Dissertação de mestrado em arquitetura e urbanismo. Universidade de Brasília.

MATSUHIRO, B., LILLO, L., SÁENZ, C., URZÚA, C., ZÁRATE, O. Chemical characterization of the mucilage from fruits of *Opuntia ficus indica*. **Carbohydrate Polymer**, v.63, p.263–267, 2006.

MAYWORM, M.; SALATINO, A. Teores de óleo e composição de ácidos graxos de sementes de *Cereus jamacaru* DC (Cactaceae), *Zizyphus joazeiro* Mart. (Rhamnaceae) e *Anadenanthera colubrina*

(Benth) Brenan var *cebil* (Griseb.) Von Altschul. (Mimosaceae). **Sitientibus**, Feira de Santana, n. 15, p.201-209. 1996.

MCCLEMENTS, D.J. **Food emulsions: principles, practice, and techniques**. Washington: CRC Press, 2005.

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

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

MEDINA-TORRES<sup>b</sup>, L.; BRITO-DE LA FUENTE, E.; GÓMEZ-ALDAPA, C.A.; ARAGON-PIÑA, A.; TORO-VAZQUEZ, J.F. Structural characteristics of gels formed by mixtures of carrageenan and mucilage gum from *Opuntia ficus indica*. **Carbohydrate Polymers**, v.63, p.299–309, 2006.

MILLER, G.L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry** , v.31, p.426-428, 1959.

MINDT, L.; SAAG, K.; SANDERSON, G.R.; MOYNA, P.; RAMOS, G. Cactaceae mucilage composition. **Journal of Science in Food Agriculture**. v. 26, p. 993-1000. 1975.

MIZRAHI, Y.; NERD, A.; SITRIT, Y. **New Fruits for Arid Climates** . J. Janick and A. hipkey (eds.). ASHS Press, Alexandria, VA. Reprinted from: Trends in new crops and new uses, 2002.

MIZRAHI, S.; BERK, Z. low behaviour of concentrated orange juice: mathematical treatment. **Journal of Texture Studies**, v.3, p.69-79, 1972.

NENONENE, A.Y.; KOBA, K.; SANDA, K.; RIGAL, L. Composition and Binding Properties of Mucilages from Stem Bark of *Grewia venusta* and Calyx of *Bombax costatum*, two Tropical Plants Growing Wild in Togo. **Bangladesh J. Sci. Ind. Res.** 44(2), 247-253, 2009.

NERD, A., A. KARADI E Y. MIZRAHI, Adaptation of five columnar cactus species to various conditions in the Negev Desert of Israel. **Journal, Economic Botany**. v. 47, n.3, 1993.

NOBEL, S.P., CAVALIER, J., ANDRADE, J.L. Mucilage in cacti its apoplasmic capacitance associated solutes, and influence on tissue water relation. **Journal of Experimental Botany**, v.43(250), p.641–642, 1992.

OLIVEIRA, E.M. **Estudo dos carboidratos presentes nos cladódios de *Opuntia ficus indica* (palma forrageira) de acordo com a idade e sazonalidade**. Recife, 2007. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) – Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco, 65p.

OLIVEIRA<sup>a</sup>, E.A.; JUNQUEIRA, S.F.; MASCARENHAS, R.J. Caracterização físico-química e nutricional do fruto da palma (*Opuntia ficus Indica* L. Mill) cultivada no sertão do sub-médio São Francisco. **Holos**, v.3, p.113-119, 2011.

OLIVEIRA<sup>b</sup>, F. M. N. et al. Características físico-químicas da polpa e casca do fruto do Mandacaru. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 19., 2004, Recife. **Anais...** Recife: Centro de Convenções de Pernambuco, 2004. 1 CD-ROM.

PELEGRINE, D.H., VIDAL, J.R.M.B.; GASPARETTO, C.A. Estudo da viscosidade aparente das polpas de manga (Keitt) e abacaxi (Pérola). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.20, n.1, 2000.

PETTITT, D. J. Xanthan gum. In: GLICKSMAN, M. ed., **Food Hydrocolloids**. Boca Raton: C.R.C. Press, p.127-147, 1982.

PIGA, A. Cactus Pear: A Fruit of Nutraceutical and Functional Importance. **J, PACD**, 2004.

PINTO, E.P.; MOREIRA, A.; VENDRUSCOLO, C.T. Influência do pH, adição de sais e temperatura na viscosidade dos biopolímeros produzidos por *Beijerinckia* sp. 7070 e UR4. **R. bras. Agrociência**, v.8, n.3, p.247-251, 2002.

PORTO, M. R. A. **Caracterização físico-química e comportamento reológico da polpa do fruto de *Cereus hildmannianus***. Florianópolis, 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, 94p.

QUADRI, M.G.N. *et al.*. 2010. **Suco de cactáceas**. Pedido de patente. INPI Florianópolis.

QUEIROZ, A.J.M.; BEZERRA, J.R.M.V., GASPARETTO, C.A. Influência de diferentes teores de sólidos insolúveis suspensos nas características reológicas de sucos de abacaxi naturais e despectinizados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, p.75-79, 2000.

RAMADAN, M. F.; MÖRSEL, J. Recovered lipids from prickly pear [*Opuntia ficus-indica* (L.)] peel: a good source of polyunsaturated fatty acids, natural antioxidant vitamins and sterols. **Food Chemistry**. v.83, p.447-456, 2003.

RAMIREZ, J.S. **Introducción a la reología**. JSR e-books Cali, Valle, Colombia, 2006.

RAO, M. A.; ANANTHESWARAN, R. C. Rheology of fluids in food processing. **Food Technology**, v.36, n.2, p.116, 1982.

REIS, E.M.; NOZAKI, J. **Tratamento biológico de efluentes de indústrias de papel após floculação e coagulação com sais de alumínio e polieletrólitos naturais**. Disponível em: <<http://www.tratamentodeagua.com.br/r10>>. Acesso em 25 de julho de 2011.

RIGO, M.; BEZERRA, J.R.M.V.; CÓRDOVA, K.R.V. Estudo do efeito da temperatura nas propriedades reológicas da polpa de butiá (*Butia eriospatha*). **Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, v.6, 2010.

RUFINO, M.S.M.; ALVES, R.E.; BRITO, E.S.; MORAIS, S.M.; SAMPAIO, C.G.; PÉREZ-GIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F.D. **Metodologia científica: Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH**. Fortaleza, 2007.

RUSSELL, C. E.; FELKER, P. The prickly-pears (*Opuntia* spp., Cactaceae): A source of Human and Animal Food in Semi-arid Regions. **Econ. Bot.**, v. 41, p.433-445, 1987.

SAAG, K.M.L., SANDERSON, G., MOYNA, P., RAMOS, G. Cactaceae mucilage composition. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.26, p.993-1000, 1975.

SÁENZ, C. Cactus pear fruits and cladodes: A Source of functional components for foods. **Acta Hort** ( Proc.4th IC on Cactus Pear and Cochineal), 581: p.253-263, 2002.

SÁENZ, C. Processing technologies: an alternative for cactus pear (*Opuntia* spp.) fruits and cladodes. **Journal of Arid Environments**, v.46, p.209-225, 2000.

SÁENZ, C., MONTOYA, L.C. Nopalitos: Nueva hortaliza para Chile. **El Campesino**, v.130 (6), p.4-7, 1999.

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

SÁENZ, C., VÁSQUEZ, M., TRUMPER, S., FLUXÁ, C. Extracción y composición química de mucílago de tuna (*Opuntia ficus indica*). **Actas II Congreso Internacional de Tuna y Cochinilla**. Santiago, Chile, p. 93-96, 1992.

SANDFORD, P. A. Potential important microbial gums. In: GLICKSMAN, M. ed., **Food Hydrocolloids**. Boca Raton: C.R.C. Press, v.1, p.168-199, 1982.

SANTOS, F. J. C. **Análise de reologia e filtração de fluidos de fraturamento hidráulico e sua influência na otimização de projetos**. Rio de Janeiro, 2004. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 105p.

SARAVACOS, G. D; Effect of temperature on viscosity of fruit juices and purees. **Journal of food science**, v.35, n.2, p.122-125, 1970.

SAWAYA, W. N., J. K. KHALIL e M.M. AL-HAMMAD. **Nutritive value of prickly pear seeds, *Opuntia ficus-indica***, 1983.

SATO, A.C.K. **Reologia de suspensões-modelo: efeito da concentração de sólidos e da matriz dispersante**. Campinas, 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Departamento de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 169p.

SEPÚLVEDA, E.; SÁENZ, C. Características químicas y físicas de pulpa de tuna (*Opuntia ficus-indica* L.). **Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos** Valência, v. 30, n.4, p.551-555, 1990.

SEPÚLVUDA, E.; SAENZ, C.; ALIAGA, E.; ACEITUNO, C. Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. **Journal of Arid Environments**, v.68, p.534-545, 2007.

SHARMA, S. K.; LeMAGUER, M.; LIPTAY, A.; POYSA, V. Effect of composition on the rheological properties of tomato thin pulp. **Food Research International**, v.29, p.175-179, 1996.

SHEDBALKAR, U.U.; ADKI, V.S.; JADHAV, J.P.; BAPAT, V.A. *Opuntia* and Other Cacti: Applications and Biotechnological Insights. **Tropical Plant Biol.**, v. 3, p.136-150, 2010.

SILVA, A.S.; FIQUEIREDO, R.M.F.; QUEIROZ, A.J.M.; LIMA, E. Avaliação da composição físico-química da coroa-de-frade. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 5, n.2, 2005.

SILVA, L.R. e ALVES, R.E. Caracterização físico-química dos frutos de Mandacaru. Rev. Acad., Ciênc. **Agrár. Ambient.**, Curitiba, v.7, n.2, p.199-205, 2009.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **Am. J. Enol. Vitic.**, v.20, n.2, p.144-158, 1965.

SOUZA, V. CASTRO i LORENZI H, **Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de angiospermas da flora brasileira**, Nova Odessa: Plantarum ,2005.

STEFFE, J. F. **Rheological methods in food process engineering**. Michigan: Freeman Press, 2<sup>a</sup> Ed, 418p., 1996.

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

STREETER, V. L. **Mecânica de fluidos**. México: McGraw Hill, 54p., 1996.

SUN, J.; CHU, Y.F.; WU, X.; LIU, R.H. Antioxidant and antiproliferative activities of common fruits. **J. Agric. Food Chem.**, v.50, n.25, p.7449-7454, 2002.

TABILO-MUNIZAGA, G.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Rheology for the food industry. **Journal of Food Engineering**, v.67, p.147-156, 2005.

TANGLERTPAIBUL, T.; RAO, M.A. Rheological properties of tomato concentrates as affected by particle size and methods of concentration. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 52, n. 1, p. 141-145, 1987.

TEÓFILO, R.F.; FERREIRA, M.M.C. Quimiometria II: Planilhas eletrônicas para cálculos de planejamentos experimentais, um tutorial. **Química nova**, v.29, n.2, p. 338-350, 2006.

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

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

TRACHTENBERG, S., MAYER, A. M. **Phytochemistry**, v.21, p.2835–2843, 1982.

VANDRESEN, S. **Caracterização físico-química e Comportamento reológico de sucos de Cenoura e laranja e suas misturas** – Florianópolis, 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)

Departamento de Engenharia Química e Engenharia de alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, 134p.

VARGAS, P.N.; HOELZEL, S.C.; ROSA, C.S. Determinação do teor de polifenóis totais e atividade antioxidante em sucos de uva comerciais. **Alim. Nutr.**, Araraquara v.19, n.1, p.11-15, 2008.

VIDAL, J.R.M.B.; **Estudo reológico do suco de manga – efeito dos sólidos insolúveis**. Campinas, 1997. Dissertação de Mestrado, FEA/UNICAMP, 81p.

VIDAL, J. R. M. B.; GASPARETTO, C. A. Comportamento reológico da polpa de manga (*Mangifera indica L*) - efeito dos sólidos insolúveis. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.20, n.2, 2000.

VILLASEÑOR, M. A. A. **Efecto del método de extracción em las características químicas y físicas del mucílago del nopal (*Opuntia ficus indica*) y estudio de su aplicación como recubrimiento comestible**. Valência, 2008. Tese de doutorado, Universidade Politécnica de Valência. Departamento de Tecnologia de Alimentos, 244p.

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

WATERHOUSE, A.L. Polyphenolics: Determination of Total Phenolics. **In: Current Protocols in Food Analytical Chemistry**, Wrolstad, R.E (Ed.). John Wiley and Sons, Inc., New York, p.1-4, 2002.