



**TAÍSA REZENDE TEIXEIRA FARIAS**

**AVALIAÇÃO DE AGENTES DE CORPO NAS  
PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS,  
SENSORIAIS E REOLÓGICAS DE DOCES *DIET*  
DE FRUTAS DO CERRADO ELABORADOS  
COM PECTINA DE BAIXO E ALTO GRAU DE  
METOXILAÇÃO**

**LAVRAS – MG**

**2015**

**TAÍSA REZENDE TEIXEIRA FARIAS**

**AVALIAÇÃO DE AGENTES DE CORPO NAS PROPRIEDADES  
FÍSICO-QUÍMICAS, SENSORIAIS E REOLÓGICAS DE DOCES *DIET*  
DE FRUTAS DO CERRADO ELABORADOS COM PECTINA DE  
BAIXO E ALTO GRAU DE METOXILAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade  
Federal de Lavras, como parte das  
exigências do Programa de Pós-  
Graduação em Ciência dos Alimentos,  
para a obtenção do título de Mestre.

Orientadora

Dra. Fabiana Queiroz

Coorientadora

Dra. Patrícia Aparecida Pimenta Pereira

**LAVRAS – MG**

**2015**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha  
Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados  
informados pelo (a) próprio(a) autor(a).**

Farias, Taísa Rezende Teixeira.

Avaliação de agentes de corpo nas propriedades físico-químicas,  
sensoriais e reológicas de doces *diet* de frutas do cerrado elaborados  
compectina de baixo e alto grau de metoxilação / Taísa Rezende Teixeira  
Farias. – Lavras: UFLA, 2015.

168 p.

Dissertação (mestrado acadêmico) – Universidade Federal de Lavras,  
2015.

Orientadora: Fabiana Queiroz.

Bibliografia.

1. Agente de corpo. 2. Propriedades físico-químicas. 3. Propriedades  
reológicas.

**TAÍSA REZENDE TEIXEIRA FARIAS**

**AVALIAÇÃO DE AGENTES DE CORPO NAS PROPRIEDADES  
FÍSICO-QUÍMICAS, SENSORIAIS E REOLÓGICAS DE DOCES *DIET*  
DE FRUTAS DO CERRADO ELABORADOS COM PECTINA DE  
BAIXO E ALTO GRAU DE METOXILAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 25 de fevereiro de 2015.

Dr. Soraia Vilela Borges UFLA

Dr. Camila Carvalho Menezes UFOP

Dr. Fabiana Queiroz

Orientadora

Dra. Patrícia Aparecida Pimenta Pereira

Coorientadora

**LAVRAS – MG**

**2015**

*À minha mãe, Maria Helena e ao meu esposo, Elias.  
Sem vocês não teria chegado até aqui.*

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela vida, saúde, força e capacidade de executar e escrever este trabalho; por estar sempre presente em minha vida, me conduzindo até aqui em meio a tantos obstáculos. A ele toda honra, glória e louvor!!!

À minha amada mãe, Maria Helena, pelo seu amor incondicional, conselhos, incentivos e orações.

Ao meu esposo, Elias que, além de me fazer feliz, ajudou-me, durante todo esse percurso, me apoiando e me incentivando a nunca desistir e sempre seguir em frente. Em todos os momentos, tem compartilhado comigo muito amor e carinho. Seu apoio foi fundamental para a execução deste trabalho. Não tenho palavras para expressar o meu agradecimento!!! Amo você!!!!

Aos meus irmãos, Alysson, Gilson e Emerson, e suas respectivas famílias pelo imenso carinho.

À minha segunda família, família Farias, em especial aos meus cunhados, Celinha e Matheus, pelo carinho e apoio.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciência dos Alimentos, pela oportunidade e contribuição para o meu crescimento profissional.

À FAPEMIG, pela concessão da bolsa de estudos. Sem ela teria sido impossível.

À minha orientadora Fabiana Queiroz e coorientadora Patrícia Aparecida Pimenta Pereira, pela amizade, apoio, paciência, orientação e pelos ensinamentos transmitidos para que este trabalho fosse realizado. A vocês o meu imenso agradecimento!!!

À Vanessa, pela amizade e pelo apoio na execução deste trabalho.  
Às professoras Camila e Soraia, por aceitarem o convite de compor a banca de defesa e colaboração no enriquecimento deste trabalho.

Ao professor João de Deus, pelo espaço na “salinha de estudos”, pelo apoio e ensinamentos.

Às minhas amigas Rafa e Dani, pelo carinho e amizade nas horas de dificuldades e, principalmente, pelos momentos de alegria. A amizade de vocês foi de extrema importância durante a realização deste trabalho. Vocês são muito especiais para mim. Muito obrigada por tudo!!!

Às minhas estagiárias Sarah, Alessa e Letícia, por me ajudarem na execução dos experimentos.

Aos amigos e amigas da Congregação Cristã no Brasil (CCB), pelo carinho e companheirismo. Em especial, aos amigos da República Matadouro (Miguel, Marcus Vinícius, Diego, Guilherme, Jean e Braad) e também a Silviana, Daelen e Michele, pelo apoio e companhia durante os almoços do R.U.

À Nutramax, pela doação dos edulcorantes.

À Danisco, pela doação das gomas e pectinas

A todos vocês que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, **Minha Imensa Gratidão!!!!**

“Ainda que eu falasse as línguas dos homens e dos anjos,  
Ainda que conhecesse todos os mistérios e toda a ciência  
e não tivesse amor,... nada seria”

I Coríntios, 13: 1-2

## RESUMO GERAL

As frutas do cerrado (marolo, graviola e maracujá-doce) são pouco conhecidas e uma forma de melhorar sua comercialização é a elaboração de doces e geleias. Para atender ao mercado consumidor surgiu a necessidade de elaborar produtos com substituição parcial ou total da sacarose. Porém, o desenvolvimento de produtos com restrição de sacarose necessita da inclusão de muitos aditivos, a fim de compensar a sua retirada, tais como edulcorantes, agentes de corpo, agentes gelificantes e também conservantes. Portanto, este trabalho foi realizado com os objetivos de (1) avaliar o efeito de agentes de corpo (eritritol, sorbitol, xilitol e polidextrose) e suas misturas sobre as propriedades físico-químicas e sensoriais de doces *diet* de frutas do cerrado elaborados com pectina de alto (ATM) e baixo grau de metoxilação (BTM) e (2) avaliar o efeito de agentes de corpo (eritritol, sorbitol, xilitol e polidextrose) nos parâmetros reológicos e quanto ao atributo textura da análise sensorial de doces *diet* de frutas do cerrado elaborados com pectina de alto e baixo grau de metoxilação. As propriedades (físico-químicas, sensoriais e reológicas) foram afetadas pelos agentes de corpo. O eritritol e a polidextrose não devem ser utilizados como componentes puros na elaboração de doces *diet*, nas concentrações utilizadas neste trabalho, uma vez que provocaram alterações indesejáveis nas propriedades físico-químicas e influenciaram negativamente as notas dos atributos sensoriais. Já o xilitol proporcionou menores valores de atividade de água e também melhores notas sensoriais. O sorbitol, embora tenha se destacado também na análise sensorial, assim como o xilitol, provocou maiores valores de sinerese. Para a aceitabilidade, o tipo de pectina não interferiu nos resultados e, sim, os agentes de corpo. Em relação aos parâmetros reológicos, o efeito do eritritol foi maior para dureza, adesividade, gomosidade, módulos elásticos ( $E_e$  e  $E_1$ ), viscosidade, tensão de ruptura ( $\sigma_{rup}$ ), módulo de elasticidade ( $E$ ) e trabalho de ruptura ( $W_{rup}$ ). Logo, o uso do eritritol possibilitou a produção de doces mais duros e quebradiços, enquanto o xilitol e o sorbitol deixaram os doces mais elásticos, coesivos e mais dúcteis (maiores valores de deformação de ruptura). Já a polidextrose apresentou efeito sinérgico com o eritritol para a deformação de ruptura ( $\epsilon_{rup}$ ) e menores efeitos para dureza, adesividade e gomosidade. A formulação elaborada com o eritritol como agente de corpo foi a menos aceita quanto ao atributo textura da análise sensorial, uma vez que essa formulação ficou dura e quebradiça, sendo correlacionada com a maior parte dos parâmetros reológicos, por apresentar altos valores desses parâmetros.

Palavras-chave: Agente de corpo. Propriedades físico-químicas. Propriedades reológicas. Atributos Sensoriais. Pectina.

## GENERAL ABSTRACT

The native fruits (marolo, soursoup and sweet passion fruit) of the cerrado, Brazilian vegetation, are little known and a way to improve your commercialization is the preparation of jams and sweetmeats. To attend the consumer market became necessary to develop products with partial or total substitution of sucrose. However, the development of products with sucrose restriction requires the inclusion of many additives, in order to compensate the withdrawal, such as sweeteners, bulk agents, gelling agents and also preservatives. Therefore, this study was conducted with the objectives of: (1) to evaluate the effect of bulk agents (erythritol, sorbitol, xylitol and polydextrose) and your mixtures on physicochemical and sensory properties of sweet diets native fruits, elaborated with high pectin (ATM) and the low degree of methoxylation (BTM). (2) Evaluate the effects of bulk agents (erythritol, sorbitol, xylitol and polydextrose) in the the rheological parameters and also in the texture attribute of sensory analysis of sweet diets native fruits elaborated with high pectin and low degree of methoxylation. The bulk agents affected the properties (physicochemical, sensory and rheological). The erythritol and polydextrose should not be used as pure components in the preparation of sweets diet, at the concentrations used in this study, since caused undesirable changes in the physicochemical properties and negatively influenced the sensory attributes notes. The xylitol have provided smaller water activity values and also better sensory notes. The Sorbitol, although it has also been highlighted in sensory analysis as well as xylitol, resulted in higher values of syneresis. For the acceptability, the type of pectin not interfere with the results but the bulk agents. Regarding the rheological parameters, the effect of erythritol was higher in hardness, adhesiveness, gumminess, elastic modulus ( $E_s$  and  $E_1$ ), viscosity, breakdown voltage ( $\sigma_{rup}$ ), elastic modulus ( $E$ ) and breaking work ( $W_{rup}$ ). Thus, the use of erythritol possible to produce more brittle and hard sweetmeats, while xylitol and sorbitol have left more elastic, cohesive and more ductile (higher breakdown voltage values) sweetmeats. The polydextrose had a synergistic effect with erythritol to rupture strain ( $\epsilon_{rup}$ ) and minor effects on hardness, adhesiveness and gumminess. The formulation made with erythritol as bulk agent was less accepted for the texture attribute of sensory analysis, once this formulation was hard and brittle, being correlated with the majority of rheological parameters by presenting high values of these parameters.

Keywords: Bulk Agents. Physicalchemical properties. Rheological properties. Sensory attributes. Pectin.

## LISTA DE FIGURAS

### PRIMEIRA PARTE

Figura 1	Mapa do ecossistema do cerrado.....	17
Figura 2	Estrutura molecular da polidextrose.....	32
Figura 3	Estrutura do eritritol .....	39
Figura 4	Estrutura do sorbitol .....	41
Figura 5	Estrutura do xilitol.....	42
Figura 6	Curva típica de análise de perfil de textura.....	47
Figura 7	Curvas de relaxamento de tensão .....	50
Figura 8	Representação esquemática do modelo de Maxwelll .....	51
Figura 9	Representação esquemática do modelo de Maxwelll generalizado ...	52
Figura 10	Representação esquemática da curva tensão <i>versus</i> deformação .....	55

### SEGUNDA PARTE

#### ARTIGO 1

Figura 1	Fluxograma de elaboração do doce de fruta de baixo valor calórico .	87
Figura 2	Mapa de preferência interno de três vias (PARAFAC) para os doces <i>diet</i> de frutas do cerrado. (a) doces elaborados com pectina BTM, (b) doces elaborados com pectina ATM. Consumidores representados por vetores, amostras por quadrados e atributos sensoriais por círculos. A formulação 11 é a média das formulações 11, 12 e 13. IG: impressão global.....	111

#### ARTIGO 2

Figura 1	Fluxograma de elaboração do doce de fruta de baixo valor calórico	133
Figura 2	Mapa de preferência externo para o atributo textura da análise sensorial. a) doces elaborados com pectina BTM, (b) doces elaborados com pectina ATM. Consumidores representados por vetores, amostras por quadrados e parâmetros reológicos por círculos. Tensão: tensão de ruptura; Deform: deformação de ruptura; M.Elas: módulo de elasticidade; Wrup: trabalho de ruptura; Dur: dureza; Ades: adesividade; Elast: elasticidade; Coes: coesividade; Gom: gomosidade; Ee: módulo elástico de equilíbrio; E <sub>1</sub> : módulo de elasticidade do corpo ideal; T.rel: tempo de relaxação; Visc: viscosidade. A formulação 11 é a média das formulações 11, 12 e 13.....	158

## LISTA DE TABELAS

### PRIMEIRA PARTE

Tabela 1	Definições das propriedades do perfil de textura.....	48
----------	---	----

### SEGUNDA PARTE

#### ARTIGO 1

Tabela 1	Poder dulçor dos polióis e da polidextrose em relação à sacarose...	85
Tabela 2	Proporção dos ingredientes fixos usados na elaboração dos doces com frutas do cerrado.....	86
Tabela 3	Planejamento experimental das misturas, mostrando os níveis codificados e não codificados das variáveis empregadas no planejamento em rede simplex .....	88
Tabela 4	Respostas das análises físicas e físico-químicas dos doces <i>diet</i> de frutas do cerrado elaborados com pectina de baixo teor de metoxilação (BTM).....	93
Tabela 5	Respostas das análises físicas e físico-químicas dos doces <i>diet</i> de frutas do cerrado elaborados com pectina de alto teor de metoxilação (ATM).....	94
Tabela 6	Modelos preditos para as análises físicas e físico-químicas das formulações de doces <i>diet</i> de frutas do cerrado elaborados com pectina de baixo teor de metoxilação e com pectina de alto teor de metoxilação .....	95
Tabela 7	Respostas da análise de cor dos doces <i>diet</i> de frutas do cerrado elaborados com pectina de baixo teor de metoxilação (BTM) e com pectina de alto teor de metoxilação (ATM) .....	103
Tabela 8	Modelos preditos para a análise de cor das formulações de doces <i>diet</i> de frutas do cerrado elaborados com pectina de baixo teor de metoxilação e com pectina de alto teor de metoxilação .....	104
Tabela 9	Médias dos atributos sensoriais de doces <i>diet</i> de frutas do cerrado, elaborados com pectina de baixo teor de metoxilação (BTM) .....	106
Tabela 10	Médias dos atributos sensoriais de doces <i>diet</i> de frutas do cerrado, elaborados com pectina de alto teor de metoxilação (ATM) .....	106
Tabela 11	Modelos preditos para os atributos sensoriais das formulações de doces <i>diet</i> de frutas do cerrado, elaborados com pectina de baixo teor de metoxilação e com pectina de alto teor de metoxilação.....	107

Tabela 12	Desempenho dos modelos PARAFAC para os dados de aceitação dos doces <i>diet</i> de frutas do cerrado .....	110
-----------	--	-----

## ARTIGO 2

Tabela 1	Poder dulçor dos polióis e da polidextrose em relação à sacarose.	131
Tabela 2	Proporção dos ingredientes fixos utilizados na elaboração dos doces elaborados com frutas do cerrado.....	132
Tabela 3	Planejamento experimental das misturas mostrando os níveis codificados e não codificados das variáveis empregadas no planejamento em rede simplex .....	135
Tabela 4	Parâmetros do perfil de textura (TPA) dos doces <i>diet</i> de frutas do cerrado elaborados com pectina de baixo teor de metoxilação (BTM) e com pectina de alto teor de metoxilação (ATM).....	141
Tabela 5	Modelos preditivos para os parâmetros do perfil de textura (TPA) dos doces <i>diet</i> de frutas do cerrado elaborados com pectina de baixo teor de metoxilação (BTM) e com pectina de alto teor de metoxilação (ATM) .....	142
Tabela 6	Parâmetros do teste de relaxação para o modelo de Maxwell dos doces <i>diet</i> de frutas do cerrado elaborados com pectina de baixo teor de metoxilação (ATM) e com pectina de baixo teor de metoxilação (BTM).....	147
Tabela 7	Modelos preditos para os parâmetros do Modelo de Maxwell dos doces <i>diet</i> de frutas do cerrado elaborados com pectina de baixo teor de metoxilação (ATM) e com pectina de baixo teor de metoxilação (BTM).....	148
Tabela 8	Parâmetros do teste de compressão uniaxial dos doces <i>diet</i> de frutas do cerrado elaborados com pectina de baixo teor de metoxilação (BTM) e com pectina de alto teor de metoxilação (ATM) .....	151
Tabela 9	Modelos preditos para os parâmetros do teste de compressão uniaxial dos doces <i>diet</i> de frutas do cerrado elaborados com pectina de baixo teor de metoxilação (BTM) e com pectina de alto teor de metoxilação (ATM) .....	152
Tabela 10	Médias do atributo textura da análise sensorial dos doces <i>diet</i> de frutas do cerrado elaborados com pectina de baixo teor de metoxilação (BTM) e com pectina de alto teor de metoxilação (ATM) .....	155
Tabela 11	Modelos preditos para o atributo textura da análise sensorial das formulações de doces <i>diet</i> de frutas do cerrado elaborados com pectina de baixo teor de metoxilação e com pectina de alto teor de metoxilação .....	156

## SUMÁRIO

	<b>PRIMEIRA PARTE</b> .....	14
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	16
<b>2.1</b>	<b>Cerrado</b> .....	16
<b>2.1.1</b>	<b>Marolo (<i>Annona crassiflora</i> Mart.)</b> .....	19
<b>2.1.2</b>	<b>Maracujá-doce (<i>Passiflora alata</i> Curtis)</b> .....	19
<b>2.1.3</b>	<b>Graviola (<i>Annona muricata</i>)</b> .....	20
<b>2.2</b>	<b>Doces de frutas</b> .....	21
<b>2.3</b>	<b>Doces de frutas <i>diet/light</i></b> .....	22
<b>2.4</b>	<b>Pectina</b> .....	27
<b>2.5</b>	<b>Agentes de corpo</b> .....	31
<b>2.5.1</b>	<b>Polidextrose</b> .....	31
<b>2.5.2</b>	<b>Polióis</b> .....	33
<b>2.5.2.1</b>	<b>Eritritol</b> .....	38
<b>2.5.2.2</b>	<b>Sorbitol</b> .....	40
<b>2.5.2.3</b>	<b>Xilitol</b> .....	42
<b>2.6</b>	<b>Reologia</b> .....	43
<b>2.6.1</b>	<b>Análise de perfil de textura</b> .....	45
<b>2.6.2</b>	<b>Teste de relaxação</b> .....	49
<b>2.6.3</b>	<b>Teste de compressão uniaxial</b> .....	54
<b>3</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	57
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	59
	<b>SEGUNDA PARTE – ARTIGOS</b> .....	77
	<b>ARTIGO 1 Efeito de agentes de corpo nas propriedades físico-químicas e sensoriais de doces <i>diet</i> de frutas do cerrado elaborados com pectina de baixo e alto grau de metoxilação</b> .....	77
	<b>ARTIGO 2 Avaliação de agentes de corpo nos parâmetros reológicos de doces <i>diet</i> de frutas do cerrado elaborados com pectina de alto e baixo teor de metoxilação</b> .....	124

## PRIMEIRA PARTE

### 1 INTRODUÇÃO

O cerrado é um bioma típico da zona tropical e, apesar das limitações impostas ao crescimento e ao desenvolvimento das plantas pelo regime das chuvas e pelas características do solo, apresenta surpreendente variabilidade de espécies (ALMEIDA et al., 2011; AVIDOS; FERREIRA, 2003; SOARES et al., 2009). Muitas dessas espécies apresentam características sensoriais únicas e significativas concentrações de nutrientes (CARDOSO et al., 2011; SOUZA et al., 2012a). Dentre essas espécies podem-se citar o marolo (*Annona crassiflora* Mart), a graviola (*Annona muricata*) e o maracujá-doce (*Passiflora alata* Dryand).

As frutas nativas do cerrado são muito utilizadas pela população local, principalmente na forma *in natura* (VIEIRA et al., 2006), porém, para outras regiões, o consumo ainda é pouco difundido, por serem pouco conhecidas. Diante disso, uma forma de comercializá-las e aumentar a sua disponibilidade é a elaboração de produtos, como doces e geleias (SOUZA et al., 2012b).

Atualmente, os consumidores têm manifestado crescente preferência por alimentos *diet* e *light* (IGUAL; CONTRERAS; MARTÍNEZ-NAVARRETE, 2014), já que o consumo de grandes quantidades de sacarose é considerado um dos maiores responsáveis pela diabetes e a obesidade. Além dos problemas relacionados à saúde, o mercado consumidor também tem se preocupado com a estética corporal, fazendo com que os substitutos da sacarose ganhem destaque no mercado, aumentando, dessa forma, a demanda por produtos *diet/light* (DRUZIAN; DOKI; SCAMPARINI, 2005). Neste contexto, é essencial, para a agroindústria, desenvolver produtos que atendam ao anseio do consumidor, pois, caso contrário, ela pode perder parte do seu mercado.

A ausência de açúcares em alimentos processados, tais como geleias e doces de frutas, altera a retenção de umidade e outras características, tais como aroma, cor, textura e aroma, o que torna difícil obter produtos semelhantes aos convencionais. Neste caso, devem ser utilizados ingredientes que dão corpo ao produto, repondo o volume, a textura e o sabor doce, perdidos por meio da remoção do açúcar (MOSER; CORNÉLIO; TELIS, 2013).

Além dos problemas citados, as indústrias têm enfrentado dificuldades em relação aos seus produtos com reduzido teor de açúcar, já que eles apresentam alta atividade de água, se deteriorando mais rapidamente e, conseqüentemente, diminuindo sua vida útil. Fennema (2010) e Nielsen (1994) afirmam que fatores importantes que influenciam a atividade de água são a concentração e o soluto, e, no caso de doces tradicionais de frutas, o principal soluto responsável é a sacarose.

Por estas razões, o desenvolvimento de produtos com restrição de sacarose necessita da inclusão de muitos aditivos, a fim de compensar a sua retirada, tais como edulcorantes, agentes de corpo (polidextrose e polióis), agentes gelificantes (gomas carragena, goma locusta e pectina) e também conservantes (HRACEK et al., 2010).

Diante disso, os objetivos, na realização deste estudo, foram (1) avaliar o efeito de agentes de corpo (eritritol, sorbitol, xilitol e polidextrose) sobre as propriedades físico-químicas e sensoriais de doces *diet* de frutas do cerrado elaborados com pectina de alto (ATM) e baixo grau de metoxilação (BTM) e (2) avaliar o efeito de agentes de corpo (eritritol, sorbitol, xilitol e polidextrose) nos parâmetros reológicos e quanto ao atributo textura da análise sensorial de doces *diet* de frutas do cerrado elaborados com dois tipos de pectina – pectina de alto grau de metoxilação (ATM) e pectina de baixo grau de metoxilação (BTM).

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Cerrado**

O Brasil tem uma das maiores biodiversidades do mundo e um grande número de espécies frutíferas subexploradas, sendo elas nativas e exóticas que são de grande interesse para as agroindústrias e fonte de renda local (ALMEIDA et al., 2011; MATTIETTO; LOPES; MENEZES, 2010). O país é considerado o terceiro maior produtor mundial de frutas, sendo abundante principalmente em frutas tropicais (LETERME et al., 2006). Segundo Rufino et al. (2010), o consumo de frutas tropicais está aumentando no mercado interno e no mercado internacional, devido ao reconhecimento de seus valores nutricionais e terapêutico.

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, superado em área apenas pela Amazônia (KLINK; MACHADO, 2005), abrangendo cerca de dois milhões de quilômetros quadrados, que corresponde a 25% da área do país (Figura 1). Se estende por treze estados do interior do Brasil (CARDOSO et al., 2011), estando distribuído, principalmente, nos estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul, Tocantins, Bahia, Piauí, Maranhão e Distrito Federal (SILVA et al., 2001).

Muitas espécies nativas do Cerrado fornecem frutas que apresentam características sensoriais diferenciadas e altas concentrações de nutrientes (CARDOSO et al., 2011; SOUZA et al., 2012b). No mercado mundial, a fruticultura desse bioma vem se destacando como uma das atividades que apresentam maior retorno econômico e social (MELO, 2002).

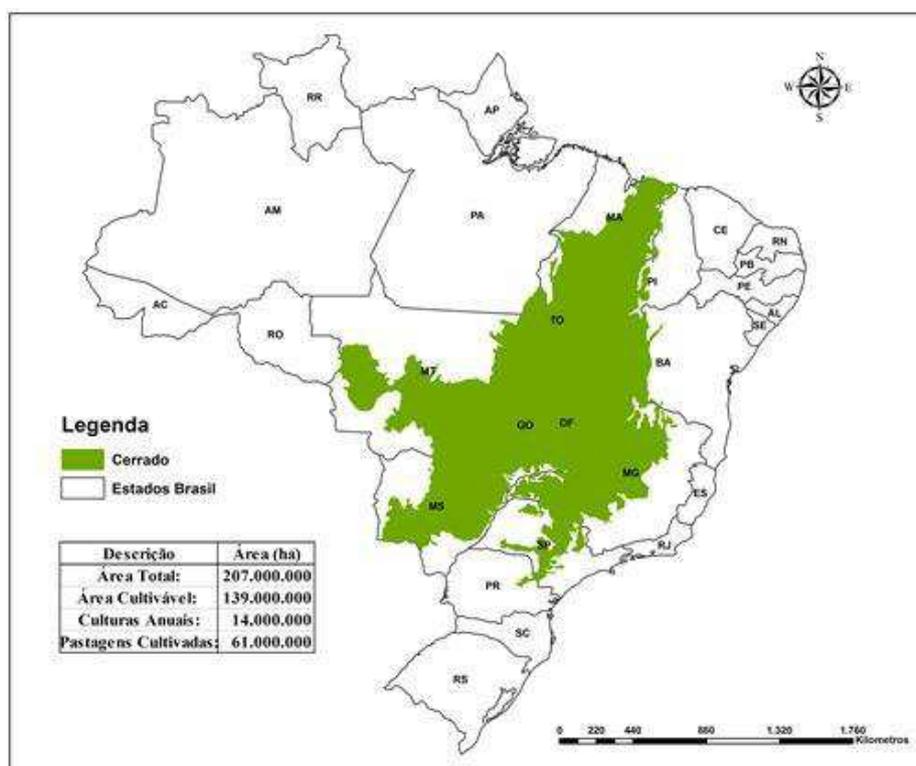


Figura 1 Mapa do ecossistema do cerrado  
 Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2013)

A flora do Cerrado tem diversas espécies frutíferas, com grande potencial de utilização agrícola, as quais são, tradicionalmente, utilizadas pela população local. Em geral, são consumidas *in natura* ou na forma de sucos, licores, sorvetes, geleias e doces diversos (SILVA et al., 2008), ainda que a população urbana desconheça a maioria das plantas nativas (ALMEIDA, 1998). Porém, nos últimos anos, houve um grande aumento da exploração econômica de produtos e subprodutos de algumas frutas específicas da região (YAHIA, 2010) e o Cerrado tem sido agredido e depredado, colocando em risco de extinção várias espécies de plantas, entre elas algumas frutíferas nativas (SOARES et al., 2009).

Os frutos do cerrado apresentam sabores *sui generis* e elevados teores de açúcares, proteínas, sais minerais, ácidos graxos (SILVA et al., 2001), vitaminas do complexo B e carotenoides (AGOSTINI-COSTA; VIEIRA, 2000). Souza et al. (2012a), ao caracterizarem polpas de certas frutas do cerrado (marolo, jenipapo, murici, graviola e maracujá-doce), encontraram altos valores de umidade e baixos valores de proteína, lipídios e valor energético. Informações a respeito das características químicas e do valor nutricional dos frutos do cerrado são ferramentas básicas para a avaliação do consumo e a formulação de novos produtos.

É possível encontrar grande quantidade de frutas nativas dos cerrados sendo comercializadas em feiras da região e nas margens das rodovias, a preços competitivos e alcançando grande aceitação popular. Observa-se a existência de mercado potencial e emergente para as frutas nativas do cerrado, a ser mais bem explorado pelos agricultores, pois todo o aproveitamento desses frutos tem sido feito de forma extrativista e predatória (AVIDOS; FERREIRA, 2003).

De acordo com Souza et al. (2012a), uma alternativa para aumentar a disponibilidade e agregar ainda mais valor a frutas exóticas brasileiras é a criação de novos produtos, como geleias e compotas, e, dada a grande variedade de frutas do Cerrado brasileiro, uma série de produtos pode ser preparada de várias misturas. Souza et al. (2012b) otimizaram formulações de doces mistos elaborados com frutas do cerrado (murici, marolo, jenipapo, maracujá-doce e graviola), de acordo com parâmetros de aceitação sensorial dos consumidores. As formulações com melhor aceitação sensorial apresentaram as seguintes proporções de polpa: 40%-50% de marolo, 35%-40% de graviola e 10%-25% de maracujá-doce. Esses autores encontram nota 7 para aceitação global nos doces elaborados com 50 % de graviola e 50% de marolo, sendo esta formulação uma das mais aceitas pelos consumidores.

### **2.1.1 Marolo (*Annona crassiflora* Mart.)**

O marolo (*Annona crassiflora* Mart.) é uma fruta sazonal, popularmente conhecida como araticum, e uma espécie arbórea nativa dos cerrados brasileiros. Sua floração ocorre, predominantemente, durante os meses de outubro e novembro (LORENZI, 1998), enquanto a frutificação se inicia em novembro, com a maturação do fruto concentrada entre os meses de janeiro e abril (CARVALHO, 2002), sendo coletados entre fevereiro e março (ROESLER et al., 2007).

O fruto é do tipo baga pouco globular de cor verde, quando em desenvolvimento e marrom, quando maduro (SOARES et al., 2009) e sua polpa é levemente doce, com aroma agradável, e as faixas de cor variam do branco ao amarelo. O sabor e o aroma da fruta em polpa amarela são mais fortes do que a branca, e são também mais apreciados pelos consumidores (DAMIANI et al., 2012).

Além de ser consumida *in natura*, são inúmeras as receitas de doces e bebidas que levam o sabor perfumado e forte de sua polpa, entre as quais se incluem batidas, licores, refrescos, bolachas, bolos, sorvetes, cremes, geleias, etc. (AVIDOS; FERREIRA, 2003; CARVALHO, 2002).

### **2.1.2 Maracujá-doce (*Passiflora alata* Curtis)**

Em um levantamento realizado pela Embrapa, constatou-se a existência de mais de 40 espécies do gênero *Passiflora* vegetando em estado silvestre no Cerrado e nas áreas de transição. Destas, as mais conhecidas são *Passiflora cincinnata*, *P. alata*, *P. setacea*, *P. nitida*, *P. serrato-digitata* e *P. quadrangularis* (BRAGA et al., 2006). Todas vêm sendo utilizadas para consumo ao natural, na forma de sucos, doces, geleias, medicamentos ou como planta ornamental.

Destas, a *P. alata*, também denominada de maracujá-doce, foi a única que sofreu processo de domesticação a partir de 1970 e, hoje, seus frutos podem ser encontrados facilmente em supermercados e verdurões (BRAGA et al., 2006).

O maracujá-doce tem sua produção e comercialização limitadas pela falta de hábito de consumo. Os frutos são ovais ou periformes, de casca alaranjada, que lembra a do mamão-papaia, e pesam de 90 a 200 g (SILVA et al., 2001). É o menos rico em suco, é adocicado e de aroma agradável. É quase exclusivamente consumido como fruta fresca, pois a polpa adocicada, com forte e agradável aroma, é até mesmo enjoativa, quando processada na forma de suco. Pode ser destinado para a exportação, pois os frutos, por suas características, agradam aos consumidores, principalmente os europeus, mercado ainda pouco conquistado (SOUZA, 2012).

### **2.1.3 Graviola (*Annona muricata*)**

A graviola, ou pinha-da-guiné-bissau (*Annona muricata*), pertencente à família Annonaceae, é uma planta originária das Antilhas. São José et al. (2000) citam que as áreas produtoras estão instaladas principalmente nas regiões litorâneas e semiáridas do nordeste, onde predomina a graviola nordestina, crioula ou comum. Tem frutos cordiformes, de casca verde-escura com terminações estilares (pseudoacúleos) proeminentes e numerosos, massa entre 1,5 e 3 kg, polpa macia e sabor de doce a subácido (RAMOS, 1999).

A graviola é valorizada pelo seu aroma agradável e característico, descrito como um sabor creme, quando está madura, devido à presença de compostos de éster, açúcares de frutas, ácidos orgânicos e descaracterizados ésteres voláteis (MCGORRIN, 2007). Além disso, sua polpa é muito succulenta e doce, e é comumente consumida como fruta fresca (MACLEOD; PIERIS, 1981).

A produção, que era totalmente destinada para a agroindústria, hoje tem um volume significativo comercializado como fruta fresca, especialmente nos mercados de São Paulo, Rio de Janeiro, Recife, Salvador, Fortaleza e Brasília (SÃO JOSÉ et al., 2000). No entanto, a alta perecibilidade do fruto e o curto período de conservação após a colheita (AZIZ; YUSOF, 1994) respondem por altos índices de perdas (MOSCA et al., 1997).

## **2.2 Doces de frutas**

Doces de frutas são bastante populares nas diversas regiões do Brasil. Os doces artesanais, desde que manipulados corretamente e conforme a embalagem e as condições de processamento e armazenamento, têm uma vida útil que pode variar de seis meses a um ano (TFOUNI; TOLEDO, 2002).

Os doces em massa são resultantes do processamento adequado das partes comestíveis dos vegetais, adicionados de açúcares, água, pectina (0,5% a 1,5%), ajustador de pH (3 a 3,4), além de outros ingredientes e aditivos permitidos, até alcançar consistência adequada, assegurando estabilidade ao produto. Após o processamento, os doces devem ser devidamente embalados e armazenados nas condições ambientais (JACKIX, 1988 apud MENEZES et al., 2009). Os fatores intrínsecos e extrínsecos afetam o processo de fabricação de doces e geleias, e, conseqüentemente, podem afetar a qualidade do produto final. Dentre os fatores intrínsecos podem-se citar o pH do doce e o grau de esterificação da pectina utilizada para promover a gelificação. Em relação aos fatores extrínsecos destacam-se o pré-processamento da fruta, a temperatura de cocção, o tamanho da embalagem, o tempo e a temperatura de geleificação, além da ordem de colocação dos ingredientes (ALBUQUERQUE, 1997).

As Normas Técnicas Especiais Relativas a Alimentos e Bebidas, anexas ao Decreto nº 272, de 22 de setembro de 2005, estabelecem o seguinte:

Doce de fruta em pasta é o produto oriundo de frutas, inteira(s), ou em parte(s) e ou semente(s), obtidas por secagem e/ou desidratação e/ou laminação e/ou fermentação, e/ou concentração, e/ou congelamento, e/ou outros processos tecnológicos considerados seguros para a produção de alimentos. Devem ser designadas por denominações consagradas pelo uso, seguidas de expressões relativa(s) ao(s) ingredientes que caracteriza(m) o produto. A designação pode ser seguida de expressões relativas ao processo de obtenção e/ou forma de apresentação e/ou característica específica (BRASIL, 2005).

O açúcar é componente essencial à fabricação desses produtos, sendo, normalmente, utilizada a sacarose na forma de cristal branco (JACKIX, 1988), que é parcialmente hidrolisada durante o processo de cocção. A baixa inversão da sacarose poderá provocar cristalização, enquanto a alta inversão poderá resultar numa granulação de dextrose (glucose) no gel (GAVA, 1998). Na produção de doce, a sacarose contribui para a formação do gel, da cor e do abaixamento da atividade de água do produto, auxiliando na sua conservação (LICODIEDOFF, 2008).

### **2.3 Doces de frutas *diet/light***

O consumidor vem se adaptando a hábitos alimentares mais saudáveis, pela ingestão de alimentos menos calóricos e nutritivos (CHIM; ZAMBIAZI; BRUSCATTO, 2006). Dessa forma, o mercado de produtos *light* e *diet* tem aumentado de forma marcante (SALGADO, 2001), devido a diversos fatores, tais como o desejo dos consumidores de controle ou perda de peso, o aumento dos casos de diabetes e de obesidade, a maior conscientização sobre qualidade de vida e saúde com a adoção de hábitos alimentares voltados para um padrão dietético mais equilibrado, além do desenvolvimento de novos produtos com sabor e textura agradáveis (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIA E

DE ALIMENTOS PARA FINS ESPECIAIS E CONGÊNESES - ABIAD, 2010).

A indústria de alimentos vem oferecendo uma grande diversificação em produtos de baixas calorias à base de frutos, similares aos convencionais, nos quais o açúcar é substituído por adoçantes não calóricos. Pela redução relativa em carboidratos e calorias, esses produtos têm aplicação nas dietas hipocalóricas e nos regimes para diabéticos, obedecidas as quotas permitidas, baseadas na composição química explicitada no rótulo do produto (ZAMBLAZI; CHIM; BRUSCATTO, 2006).

Segundo a Portaria nº 29, de 13 de janeiro de 1998, o termo *diet* pode, opcionalmente, ser utilizado para os alimentos para dietas com restrição de nutrientes (carboidrato, gordura, proteína, sódio), para os alimentos exclusivamente empregados para controle de peso e alimentos para dieta de ingestão controlada de açúcares (BRASIL, 1998). Segundo essa legislação vigente, alimentos para dietas de ingestão controlada de açúcares são alimentos especialmente formulados para atender à necessidade de pessoas que apresentem distúrbios do metabolismo de açúcares. É permitida a presença dos açúcares naturalmente existentes nas matérias utilizadas (BRASIL, 1998).

De acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), alimentos *light* são aqueles que apresentam redução de algum nutriente em comparação com um alimento de referência (versão convencional do mesmo alimento) que, especificamente para doces, consiste na redução do conteúdo de açúcares e/ou do valor calórico (BRASIL, 2012).

Na produção de doces de frutas com baixo valor calórico, é obrigatória a utilização de vários aditivos, a fim de substituir a sacarose, de modo que mantenha suas características físico-químicas e sensoriais semelhantes às do doce tradicional, além de promover um produto agradável ao paladar e com textura semelhante ao tradicional. Dentre esses aditivos, podem-se citar:

edulcorantes, gomas, pectina de baixo teor de metoxilação (BTM) e agentes de corpo. A pectina e os agentes de corpo serão discutidos em tópicos subsequentes.

Mesmo que esses doces apresentem boa aceitação sensorial, estes compostos não têm efeito significativo no abaixamento da atividade de água e, portanto, também apresentam alta atividade de água. Almeida et al. (2009) encontraram altos valores de atividade de água em goiabadas elaboradas com diferentes edulcorantes (0,91), quando comparadas com a goiabada com presença de sacarose (0,68). Dessa forma, além de todos esses compostos adicionados ao produto, é necessário adicionar depressores de atividade de água, tais como os polióis que, além de agentes de corpo, podem promover menores valores de atividade de água e, conseqüentemente, maior vida útil aos doces.

Os edulcorantes são substâncias orgânicas, não glicídicas, capazes de conferir sabor doce aos alimentos e que resultam em valor mínimo ou ausência de calorias. Portanto, são utilizados no desenvolvimento de produtos de baixo valor calórico e/ou com redução de açúcares (NACHTIGALL; ZAMBIAZI, 2006). Vários edulcorantes vêm surgindo no mercado, mas são poucos os que foram comprovadamente estabelecidos como seguros para o consumo humano, com bom poder edulcorante e estabilidade satisfatória (CARDOSO; BATTACHIO; CARDELLO, 2004).

A resolução RDC n.º 3, de 2 de janeiro de 2001, dispõe sobre o emprego de edulcorantes em alimentos, estabelecendo seus limites máximos expressos em g/100 g ou g/100 mL do produto pronto para consumo. De acordo com essa legislação, o uso de edulcorantes somente é justificável para alimentos em que houve redução parcial ou total de açúcares. Sendo assim, a RDC 03/2001 aprova a utilização de edulcorantes em alimentos e bebidas para dietas com ingestão controlada de açúcares, para dietas com restrição de açúcares, para controle de peso e com informação nutricional complementar. Destacam-se, entre os

edulcorantes permitidos para uso em produtos alimentícios no Brasil, a sucralose e o acesulfame-k (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA - ANVISA, 2001).

A sucralose foi descoberta em 1976. É um edulcorante sintético com poder adoçante 600 vezes maior que o da sacarose, e caracteriza-se pelo sabor semelhante ao da sacarose e a ausência de residual desagradável. É obtida por processo industrial relativamente simples, mediante cloração seletiva da sacarose. Devido às mudanças na molécula, não é metabolizado, não alterando os níveis de glicose sanguínea (CAMPO, 2007; VILELA et al., 2002). Uma das vantagens marcantes da sucralose reside em sua notável estabilidade, tanto em altas temperaturas quanto em amplas faixas de pH, podendo ser armazenada por longos períodos de tempo (MENDONÇA, 1999; VILELA et al., 2002; YUNG, 2000). O limite máximo de sacarose em alimentos para dietas com restrição de açúcares é de 0,04 g/100 g (BRASIL, 2008).

O acesulfame-k, assim como a sucralose, apresenta diversas características desejáveis. Criado em 1960, é o adoçante sintético de maior resistência ao armazenamento prolongado e a diferentes temperaturas. Apresenta boa estabilidade em elevadas temperaturas e baixos valores de pH. Seu poder adoçante é 200 vezes maior que o da sacarose, seu gosto doce é percebido de imediato e em grandes doses deixa um leve sabor residual amargo. Já o limite máximo de acesulfame-k para alimentos e bebidas com restrição de açúcares é de 0,035 g/100g (BRASIL, 2008).

As gomas são compostos poliméricos que, quando dissolvidos ou dispersos em água, formam soluções ou dispersões viscosas. Pertencem ao grupo dos hidrocoloides ou seus derivados, os quais têm ampla aplicação como agentes espessantes e estabilizantes. Podem ser obtidos a partir de extratos de algas marinhas (alginatos, ágar, carragenas), extratos de semente (locusta, guar),

exsudatos vegetais (arábica), microrganismos (xantana, gelana) e a partir de celulose e pectina (GRANADA et al., 2005; SANDERSON, 1981).

A utilização de hidrocoloides isolados ou associados com agentes gelificantes permite a implementação das propriedades reológicas e evita a sinérese, beneficiando as características dos produtos alimentícios formulados para fins especiais, bem como os doces *light* (VENDRAMEL; CÂNDIDO; CAMPOS, 1997). Os hidrocoloides já fazem parte da formulação de vários produtos manufaturados, tendo seu uso consagrado pela indústria alimentícia, na qual são utilizados com diferentes propósitos, dentre eles, conferindo estabilidade a produtos como pudins e sobremesas de modo geral (GRANADA et al., 2005; MUNHOZ; WEBER; CHANG, 2004). Dentre os hidrocoloides estudados podem-se citar as gomas carragena e locusta.

Carragena é o nome genérico aplicado a uma categoria de hidrocoloides extraídos de algas vermelhas da classe das *Rhodophyceas*, sendo formada por poligalactanos, que são polímeros sulfatados de moléculas alteradas de D-galactose e 3,6-anidro-D-galactose (3,6-AG), unidas por ligações  $\alpha$  (1 $\rightarrow$ 3) e  $\beta$  (1 $\rightarrow$ 4). O conteúdo e a distribuição dos grupos éster sulfato nestas moléculas são responsáveis pelas diferenças primárias entre os diversos tipos de carragenas, que são classificadas por kappa I, kappa II, iota e lambda (CARRAGENA, 2000; VAN DE VELDE, 2008). Carragena sozinha ou combinada vem sendo amplamente utilizada em uma variedade de produtos, devido à sua habilidade em formar gel, reter água e fornecer textura desejada. A funcionalidade da carragena nos produtos revela-se devido à sua propriedade de gelatinização térmica reversível. A carragena se dissolve totalmente no produto e se gelatiniza quando resfriada, o que aumenta a retenção de água, a textura e a consistência (PIETRASIK, 1999).

A goma locusta é um polímero natural utilizado, principalmente na indústria alimentícia, bem como na indústria farmacêutica (PARAMITA; SÁ;

MAITI, 2011). Este polímero natural tem a capacidade de formar soluções muito viscosas, mesmo em baixas concentrações, e tem sido utilizado para estabilizar as dispersões e as emulsões, e para substituir a gordura em muitos produtos lácteos (POLLARD et al., 2007). Apresenta pouca solubilidade em água fria, necessitando de calor para conseguir a hidratação completa e a viscosidade máxima (DAKIA et al., 2008). Também é compatível com outras gomas e espessantes.

As misturas das gomas locusta e carragena são amplamente utilizadas nas indústrias de alimentos (GARCÍA-GARCÍA; TOTOSAUS, 2008). Quando estão misturadas formam uma rede, cuja força depende da temperatura de preparação dos géis e da proporção em peso entre esses dois componentes (PINHEIRO et al., 2011). Segundo Morris (1990, citado por BRENNER et al., 2013), essa união tem provocado uma diminuição do efeito da sinerese.

## **2.4 Pectina**

As pectinas formam um grupo complexo de polissacarídeos estruturais que são encontrados na parede celular primária e nas camadas intercelulares de plantas terrestres (MILOS; NIKOLIC; MOJOVIC, 2007). São solúveis em água e têm número de metoxilas esterificadas e grau de metoxilação variáveis (SILVA, 2000).

Na elaboração de geleias e doces, a pectina é empregada como agente gelificante, espessante e estabilizante (CRISTENSEN et al., 1986). Outra característica de fundamental importância nas pectinas comerciais é o seu grau de metoxilação, o qual se relaciona com a quantidade de ácidos galacturônicos esterificados com grupamentos metílicos  $\text{CH}_3$ , sendo as pectinas classificadas como de baixa e de alta metoxilação (FU; RAO, 2001). O grau de metoxilação tem influência direta também nas propriedades funcionais de solubilidade,

capacidade de gelificação, temperatura e condições de gelificação das pectinas (BERG et al., 2012; SILVA, 2006) A formação do gel, ou a gelificação, é um fenômeno coloidal dependente da concentração e do tipo de pectina, do teor de íons hidrogênio (pH) e da quantidade de açúcar. A gelificação, de forma simples, pode ser explicada como sendo a precipitação da pectina pela adição de açúcar, alterando o equilíbrio existente entre esta e a água (SILVA, 2000). A quantidade de pectina necessária à formação de gel depende da continuidade da estrutura, isto é, do seu peso molecular (JACKIX, 1988).

Em doces e geleias com a presença de açúcar é adicionada pectina de alto teor de metoxilação (ATM), a qual forma géis firmes e estáveis, necessitando de teor de sólidos solúveis superior a 50%, além de baixo valor de pH (NACHTIGALL et al., 2004). A adição de açúcar a esse substrato influencia o equilíbrio entre a pectina e a água, desestabilizando a pectina, formando uma malha semelhante a uma rede capaz de reter líquido e aglutinar o açúcar sob a forma de um gel. A continuidade da malha formada pela pectina e a densidade das fibras dependem diretamente da concentração da pectina. Quanto maior a sua concentração, mais densas serão as fibras e, portanto, um gel mais forte. A rigidez da malha é também influenciada pela concentração de açúcar e pela acidez do meio. Quanto maior a concentração de açúcar, menor quantidade de água livre será encontrada na estrutura e, logo, a estrutura será mais rígida. A flexibilidade das fibras no sistema é controlada pela acidez do substrato. Substratos muito ácidos tanto podem resultar na formação de estruturas como podem destruir o gel, pela hidrólise ou a decomposição da pectina. O gel formado em meio muito ácido é rijo e tende a perder água (sinerese). Porém, meios de baixa acidez tornam as fibras fracas, incapazes de retenção do xarope, fazendo com que o gel fique fraco e se rompa (BOBBIO; BOBBIO, 2003; SILVA, 2000).

Na elaboração de geleias e doces com baixo teor de sólidos solúveis são empregadas pectinas com baixo teor de metoxilação (BTM), as quais formam géis na presença de íons metálicos bivalentes (normalmente o cálcio) e toleram uma ampla faixa de sólidos solúveis e de pH, sem necessitar da presença de açúcares. A estrutura tridimensional do gel de pectina BTM envolve sequências de dois ácidos galacturônicos dispostos paralelamente, formando a ponte entre íons  $\text{Ca}^{2+}$  e carboxilas livres, entrelaçando-as, estando suplementadas por pontes de hidrogênio. Zonas de junção secundárias podem surgir das pontes de hidrogênio com moléculas de água e açúcar (CAMPOS, 1993; FISZMAN, 1989). No entanto, altas concentrações do íon cálcio podem causar formação de forças repulsivas nas zonas de junção ou ligações excessivas entre as moléculas, causando contração e gerando a sinérese, que consiste na expulsão espontânea da fase aquosa da rede do gel (CAMPOS, 1993; NICKERSON; PAULSON; SPEERS, 2003). Segundo Vendramel, Cândido e Campos (1997), o emprego da pectina BTM em geleias e doces com baixo teor de sólidos solúveis pode ocasionar sinérese, textura frágil, falta de limpidez e perdas de coloração e de sabor. Além disso, pode aumentar o risco de contaminação por fungos e leveduras, reduzindo sua vida de prateleira.

A gelificação da pectina BTM envolve ligações iônicas entre íons carboxílicos e íons cálcio, ou de outro metal, os quais também podem se ligar covalentemente a grupos hidroxila (BOBBIO; BOBBIO, 2003; FRAEYE et al., 2009). O metal atua como ligante entre as cadeias de pectina, formando a estrutura do gel, não necessitando da presença do açúcar (BOBBIO; BOBBIO, 1992). Essa gelificação ocorre de acordo com o modelo “caixa de ovo”, que descreve as zonas de junções da cadeia molecular do gel de pectina BTM, por meio da interação entre íons bivalentes e os grupamentos carboxilas de cadeias diferentes de pectina, promovendo, dessa forma, a formação da rede (BARRERA et al., 2002; MORRIS et al., 1982; POWELL et al., 1982).

A estrutura do gel da pectina BTM é consideravelmente mais rígida e com elasticidade inferior à do gel de pectina ATM, o qual é formado por ligações de hidrogênio, além de requerer a presença de açúcar e ácido (COELHO, 2008).

Tsoga, Richardson e Morris (2004) verificaram a eficácia de alguns solutos (sacarose, glicose, frutose, sorbitol, xilitol, glicerol e etan-1,2-diol) em diferentes concentrações (50%, 55%, 60% e 65%) em induzir a gelificação na presença de pectina de alto teor de metoxilação (ATM) sob condições ácidas em sistema modelo. A gelificação com pectina ATM é um processo utilizado na produção de doces convencionais, compotas e geleias. Nesse estudo verificou-se que essas substâncias promoveram a gelificação da pectina com alto grau de metoxilação por remoção da água, deixando menos água disponível para manter as cadeias de polímeros em solução. Esses autores observaram também que a temperatura de início da gelificação e os módulos  $G'$  (armazenamento) e  $G''$  (perda) aumentaram com o aumento das concentrações destes solutos, tendo esse aumento sido menor para os solutos líquidos (glicerol e etan-1,2-diol), quando comparado com o dos sistemas de solutos sólidos. Essa diferença foi atribuída à inibição da interação pectina-pectina pela interação soluto-soluto, sendo esta última mais fraca em soluções com solutos líquidos.

Grosso, Bobbio e Airoidi (2000) estudaram o efeito de glicose, frutose, sacarose e sorbitol na formação de géis com pectina de baixo grau de metoxilação, e verificaram que essas substâncias, principalmente o sorbitol, podem competir por cátions. Essa interação pode ser desfavorável para a formação do gel, já que diminui a quantidade de  $Ca^{2+}$  disponível para associar com moléculas de pectina, diminuindo, assim, a rigidez do gel.

Grosso (1992) observou que o mecanismo de formação de gel da pectina BTM não depende da sua capacidade de absorção dos açúcares. O fato de os açúcares influenciarem a textura dos géis BTM estaria associado à capacidade

de competição dos açúcares com a pectina, pelos íons cálcio do meio, durante o processo de formação da matriz, pela formação de complexos açúcar-íons cálcio.

## **2.5 Agentes de corpo**

Em doces e geleias sem adição de açúcar são utilizados também agentes de corpo que são compostos com propriedades de dar estrutura ao alimento. Esses compostos devem apresentar características similares às da sacarose, como, por exemplo, reposição de sólidos, estabilidade em diferentes condições de pH e temperatura, ausência de sabor residual e contribuir com a coloração (CAMPOS et al., 2000; PEREIRA, 2012; VISSOTO; GOMES; BATISTA, 2005). No mercado existem diversas substâncias consideradas agentes de corpo, sendo a polidextrose uma das mais utilizadas.

### **2.5.1 Polidextrose**

É um polissacarídeo sintetizado pela polimerização randômica da glicose (STUMM; BATLES, 1997), que tem vários tipos de ligações glicosídicas que são pouco ácidas e solúveis em água (RIBEIRO et al., 2003). A estrutura complexa e compacta da polidextrose impede sua completa digestão enzimática no organismo, justificando, assim, seu reduzido valor energético (CRAIG et al., 1998) (Figura 2). A polidextrose pode ser considerada um alimento funcional, já que tem funções de fibra dietética (JULIAN, 2009), sendo parcialmente fermentada no intestino grosso e não digerível nem absorvido no intestino delgado e, em sua maior parte, é excretada nas fezes (PFIZER INC, 1978).

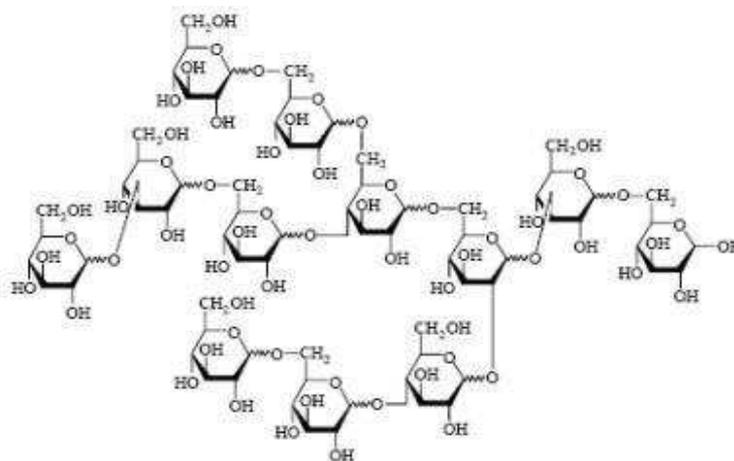


Figura 2 Estrutura molecular da polidextrose  
 Fonte: Craig et al. (1998)

A polidextrose é um pó amorfo, enquanto o açúcar é um pó cristalino (KOCER et al., 2007). Além disso, este polímero é extremamente estável, incolor e não apresenta sabor residual, sendo também altamente estável dentro de uma faixa ampla de pH, temperatura, condições de processamento e estocagem (JIE et al., 2000). Confere corpo, textura e atribui características funcionais semelhantes às da sacarose, com exceção da doçura e da cristalização. Tem alta higroscopicidade e é altamente solúvel em água, apresenta-se na forma de pó, com coloração creme e não confere sabor e odor aos alimentos, tornando-se necessário seu uso combinado com outros agentes de corpo ou edulcorantes. Uma grande vantagem apresentada pela polidextrose é seu baixo valor calórico, se comparada aos carboidratos (polidextrose = 1 kcal.g<sup>-1</sup> e carboidrato = 4 kcal.g<sup>-1</sup>) e, dessa forma, pode ser consumida por diabéticos (GOMES et al., 2007). As características químicas e de conformação da polidextrose, combinadas com os benefícios fisiológicos de fibra dietética e o baixo índice glicêmico, fazem da polidextrose um substituto interessante da sacarose em alimentos (CRAIG et al., 1998; JULIAN, 2009).

Almrhag et al. (2012) verificaram que o alto peso molecular da polidextrose (nas concentrações 50% a 78%) favoreceu a formação de géis na presença da pectina de alto grau de metoxilação, porém, em concentrações elevadas, formaram géis com consistência fraca.

Gomes et al. (2007) relataram boa performance tecnológica dos chocolates *diet* elaborados com polidextrose e maltitol. A formulação que continha 32,60% de polidextrose e 15,57% de maltitol foi a preferida em relação à análise sensorial.

Segundo Fakhouri et al. (2005), é tolerada uma média de 90 g por dia de polidextrose, sem efeitos laxativos. Um produto que contenha polidextrose só poderá alegar propriedade funcional se a porção do produto pronto para consumo fornecer, no mínimo, 3 g de polidextrose, se o alimento for sólido ou 1,5 g, se o alimento for líquido. Ainda estabelece que a recomendação diária de consumo do produto que contenha polidextrose não deve resultar na ingestão dessa fibra acima de 90 g ou cuja porção única de consumo resulte em ingestão de polidextrose superior a 50 g (BRASIL, 2008).

### 2.5.2 Polióis

Os polióis são denominados açúcares de álcoois ou álcoois poli-hídricos e estão amplamente distribuídos no reino vegetal e animal. Apesar de serem compostos naturais de muitas plantas e animais, sua extração se torna economicamente inviável, devido aos baixos teores (ALONSO; SETSER, 2004). Por isso, industrialmente, podem ser produzidos pela hidrogenação catalítica de sacarídeos em altas pressões e altas temperaturas. Essas reações promovem a substituição de aldeídos e cetona (grupo carbonila) por grupos hidroxila, por isso são conhecidos como “açúcares-álcoois”, em razão da falta do grupo carbonila (GOSH; SHUDA, 2012; KRUGER, 1999). A fórmula geral dos polióis é,

basicamente,  $H(HCHO)_{n+1}H$ , enquanto os demais açúcares apresentam como fórmula  $H(HCHO)_nHCO$  (GOSH; SHUDA, 2012).

Os polióis podem ser encontrados na forma de pó branco e cristalino ou na forma de xarope (GOSH; SHUDA, 2012). Apresentam menor solubilidade a 20°C, com exceção do sorbitol, e maior efeito de cristalização, quando comparados à sacarose (KEARSLEY; DEIS, 2006a, 2006b). São considerados edulcorantes alternativos, embora possam ser utilizados na indústria alimentícia, juntamente com os edulcorantes de alta intensidade, quando há a necessidade de restrição de açúcar (ALONSO; SETSER, 2004). Por serem de baixa intensidade, apresentam menor capacidade de adoçar, quando comparados com a sacarose e os edulcorantes utilizados industrialmente, como, por exemplo, sucralose e acessulfame-k, que têm alta potência adoçante. Dentre o polióis, o xilitol apresenta a maior doçura, geralmente considerada igual à da sacarose.

Os polióis são excelentes agentes redutores de atividade de água. A atividade de água de um produto afeta a atividade enzimática, a reação de Maillard, a oxidação de lipídios, a estabilidade microbiana e a textura, e estes fatores associados têm influência na conservação do produto (FELLOWS, 2006; ORDÓÑEZ, 2005). O manitol apresenta maior atividade de água entre todos os polióis, seguido pelo lactitol, maltitol, xilitol e sorbitol (ZUMBÉ; LEE; STOREY, 2001).

Os polióis, quando dissolvidos na boca, na forma cristalina, contribuem para uma sensação refrescante agradável, devido ao calor de dissolução negativo. Quanto menor for o tamanho da partícula, maior é o efeito refrescante (GOSH; SHUDA, 2012). O poliol com maior ação refrescante é o xilitol, seguido pelo manitol, sorbitol, maltitol, lactitol e isomalte (ZUMBÉ; LEE; STOREY, 2001).

Polióis, contrariamente à maioria dos açúcares, não sofrem reações de Maillard e reações de caramelização, por não apresentarem grupos redutores

(ALONSO; SETSER, 2004). Dessa forma, seu uso é bastante viável na elaboração de determinados alimentos, quando o escurecimento não enzimático é indesejável. Além desta vantagem, diversos autores relatam outras vantagens dos polióis sobre a sacarose como ingredientes alimentares (KROGER; MEISTER; KAVA, 2006; MARTINEZ-CERVERA; SALVADOR, 2014).

Não promovem o desenvolvimento da cárie dentária, já que são resistentes ao metabolismo das bactérias encontradas na boca, que quebram açúcares e amidos a ácidos, causando cáries. Dessa forma, não são considerados cariogênicos, além de evitarem a queda dos dentes, uma vez que não reduzem tanto o pH bucal como os demais açúcares e amidos (HAYES, 2001; HOEF, 1999; KROGER; MEISTER; KAVA, 2006). Alguns estudos sobre a fermentação *in vitro* de polióis por microrganismos orais sugeriram que estes são não acidogênicos, ou seja, não dão origem a elementos ácidos que favorecem o aparecimento de cáries (LOVEREN, 2004).

A maioria dos polióis apresenta menores valores de calorias em relação à sacarose (KROGER; MEISTER; KAVA, 2006). Isso se deve ao fato de a energia metabolizável dos polióis não ser a mesma após absorção no intestino delgado e após fermentação no cólon, podendo-se admitir que o valor calórico dos polióis esteja em uma faixa de 2 e 4 kcal/g (OS POLIOIS..., 2008). O xilitol tem cerca de 2,4 kcal/g (MUSSATO; ROBERTO, 2002); o sorbitol, 2,6 kcal/g; o maltitol, 2,1 kcal/g; o isomalte, 2,0 kcal/g e o eritritol, 0,2 kcal/g enquanto a sacarose proporciona 4 kcal/g (MARTINEZ-CERVERA; SALVADOR; SANZ, 2014).

Metabolicamente, comportam-se como carboidratos, mas são absorvidos independentemente da insulina por absorção passiva e sem elevação da taxa de glicose sanguínea. Segundo estudos clínicos, eles são bem tolerados por consumidores diabéticos (ALONSO; SETSER, 1994), já que produzem uma

resposta glicêmica menor que a maioria dos açúcares e amidos (KROGER; MEISTER; KAVA, 2006).

O intestino humano apresenta habilidade limitada de utilização dos polióis e menos de 50% a 75% da dose ingerida é biodisponível. Quando ingeridos em excesso, devido à baixa taxa e lenta velocidade de absorção pelo intestino delgado (várias vezes menor que a da sacarose), podem promover, ao atingir o cólon, um efeito osmótico, causando diarreia. A tolerância à ingestão de polióis é variável de indivíduo para indivíduo, sendo maior para pessoas habituadas a ingeri-los (ALONSO; SETSER, 2004). A ingestão é restrita a 40-50 g por dia, para adultos e 30 g por dia, para crianças, a fim de evitar desconforto gastrointestinal (GOSH; SHUDA, 2012). O consumo de 20 g/dia de polióis não deve causar efeitos indesejáveis (STOREY; ZUMBÉ, 1995), porém, alguns indivíduos podem ser muito sensíveis, mesmo a dose mínimas de polióis (HYAMS, 1983). Segundo alguns autores, existem diferenças entre os polióis, em termos de tolerância. Por exemplo, o isomalte é mais bem tolerado do que o sorbitol, o qual exerce uma maior carga osmótica no intestino (LEE; STOREY; ZUMBEÂ, 1994; ZUMBÉ; BRINKWORTH, 1992).

Diante da importância dos polióis, vários autores têm realizado estudos sobre essas substâncias (GLIEMMO et al., 2008; GROSSO; BOBBIO; AIROLDI, 2000; LAZARIDOU; VAIKOUSI; BILIADERIS, 2008; LIU et al., 2009; MOSER; CORNÉLIO; TELIS, 2013; SIEFARTH et al., 2011; TSOGA; RICHARDSON; MORRIS, 2004).

Lazaridou, Vaikousi e Biliaderis (2008) utilizaram sistema modelo para investigar os efeitos de frutose, glicose, sorbitol, sacarose e xilose, nas concentrações de 5%, 10%, 15%, 20% e 30%, em crioestruturização de cevada  $\beta$ -glucana, com diferentes pesos moleculares. Foram realizadas várias técnicas instrumentais, tais como microscopia, reologia, calorimetria e teste de compressão uniaxial. Esses autores observaram que o aumento da adição destes

solutos resultou em macroestrutura mais lisa e menos porosa. Com exceção do sorbitol, a adição e o aumento das concentrações dos demais açúcares nas soluções de  $\beta$ -glucanas retardaram a crioestruturização deste polissacarídeo, formando criogéis fracos, quebradiços e menos termoestáveis. Por outro lado, o teste de compressão revelou um aumento da firmeza dos criogéis na seguinte ordem: sacarose < frutose < glicose < xilose < sorbitol.

Moser, Cornélio e Telis (2013) estudaram as interações entre polióis e goma guar, por meio da análise de reologia, avaliando também os sistemas de congelamento e descongelamento, considerando seu potencial de uso em sorvetes ou sobremesas congeladas. A avaliação ocorreu em diferentes concentrações de goma (0,1 g, 0,5 g e 1 g/100 g) e na concentração de 40 g/100 g de polioliol (maltitol, sorbitol e xilitol). Os autores observaram que a viscosidade aparente das soluções de goma guar aumentou com a adição dos polióis, exceto quando se utilizou 1 g de goma guar/100 g e 40 g de sorbitol/100 g. Concluíram também que o comportamento viscoelástico da goma guar foi influenciado fortemente pela adição de polióis, resultando em sistemas mais elásticos e, além disso, o uso de polióis ajudou a preservar a estrutura da goma após o descongelamento.

Gliemmo et al. (2008) avaliaram a interação entre aspartame, xilitol e glicose, em sistemas modelo de baixo pH contendo sorbato de potássio. Os autores concluíram que, como o xilitol é um agente umectante, ele minimizou a degradação do aspartame e diminuiu o desenvolvimento do escurecimento não enzimático. A utilização de mais de um edulcorante pode diminuir a quantidade adicionada dos mesmos, já que foi observado sinergismo entre xilitol e aspartame, destacando a importância deste polioliol como aditivo alimentar na elaboração de produtos com reduzido teor de sacarose.

Liu et al. (2009) investigaram a influência de polióis (glicerol, propileno glicol, maltitol e sorbitol) sobre a estabilidade de proteínas de soro de leite em

sistema modelo de alimento com umidade intermediária. Estes autores observaram que o glicerol foi o poliol mais eficaz na redução da atividade de água, seguido pelo sorbitol e maltitol, tendo esses polióis fornecido uma textura desejável e retardado o endurecimento dos sistemas modelo. Por outro lado, constataram que o propileno glicol não deve ser utilizado em alimentos à base de proteína de soro de leite com umidade intermediária, já que causou alterações na conformação da proteína e na estabilidade, podendo provocar perdas na qualidade do produto.

Siefarth et al. (2011) avaliaram a liberação de quatro compostos aromáticos voláteis em diferentes soluções aquosas de baixa viscosidade (sacarose, maltitol, eritritol, polidextrose e oligofrutose), comparados com soluções com água pura. Os autores observaram que as soluções com agentes de volume (polidextrose e oligofrutose) apresentaram maior viscosidade que as soluções de polióis (maltitol e eritritol), porém, isso não influenciou a retenção dos compostos voláteis, já que todos os compostos altamente voláteis foram retidos tanto nas soluções que apresentavam sacarose e agentes de volume, como nas soluções com polióis, quando comparados com soluções contendo somente água pura.

#### **2.5.2.1 Eritritol**

O eritritol é um poliol derivado do monossacarídeo eritritose, composto por quatro carbonos (Figura 3). Pode ser encontrado em frutas (melão, uva, etc.), algas, cogumelos e em alguns alimentos fermentados, como vinho, cerveja e molho de soja (SHINDO et al., 1988). Atualmente, o eritritol é fabricado a partir da fermentação de glucose, ou de sacarose, pela fermentação do *Aureobasidium* sp., derivado do levedo da cerveja (ISHIZUKA et al., 1989). É considerado o único poliol produzido comercialmente por meio da fermentação (LIN et al.,

2001). Apresenta cerca de 75% da doçura da sacarose, forte efeito refrescante não higroscópico, é termicamente estável e tem perfil de sabor semelhante ao da sacarose (HU et al., 2012; SHINDO et al., 1988).

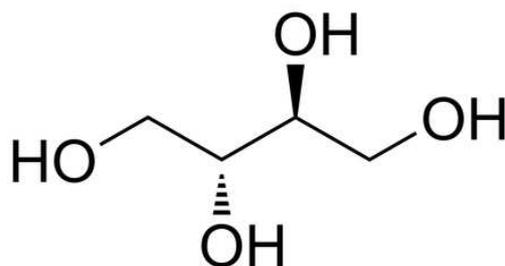


Figura 3 Estrutura do eritritol  
Fonte: ESTRUTURA... (2014)

A ingestão crônica de eritritol não causa nenhum efeito nocivo em ratos (OKU; NODA, 1990), sendo mais de 90% de eritritol absorvidos facilmente pelo intestino delgado em níveis de ingestão regular e é excretado prontamente na urina, sem qualquer degradação metabólica. Além disso, o eritritol não é cariogênico, sendo o único poliol que associa esta propriedade com baixo valor calórico, já que este fornece baixa energia, correspondendo a menos de 10% do da sacarose e ausência de efeitos colaterais (HIRASAWA; TAKEUCHI; IKEDA, 1988; NODA; NAKAYAMA; OKU, 1994).

Testes de toxicologia extensa mostraram que o eritritol é bem tolerado e não apresenta efeitos tóxicos, mesmo após o consumo de grandes quantidades (BERNT et al., 1996; MUNRO et al., 1998). Além disso, não tem nenhum impacto sobre os níveis de insulina no sangue, ou glicose, o que o torna um instrumento útil e adequado para ser ingerido por diabéticos (CHING; HAENEN; BAST, 1993; LI et al., 1996).

A ingestão diária de doses sucessivas de eritritol, com média de ingestão de 78 g/dia, apresentou boa tolerância por seres humanos. Estudos mostraram

que o consumo de eritritol líquido por voluntários saudáveis, na faixa de 20 a 35 g, é bastante tolerada, não causando nenhum sintoma (TETZLOFF et al., 1996). Pelo fato de ser rapidamente absorvido pelo intestino delgado, não causa diarreia e flatulência, como os demais polióis (ZUMBÉ; LEE; STOREY, 2001).

Segundo Storey et al. (2007), o eritritol apresenta boa tolerância no sistema digestivo, é não cariogênico, não calórico e não glicêmico, além de apresentar propriedades antioxidantes.

Segundo a Resolução RDC 18/2008, no Brasil não existe um limite máximo para o uso de eritritol (BRASIL, 2008), sendo permitida a quantidade suficiente para obter o efeito desejado.

#### **2.5.2.2 Sorbitol**

O sorbitol é um poliol frequentemente utilizado em alimentos como substituto de açúcar, pois, além de fornecer doçura, ele reduz a quantidade de calorias em uma variedade de produtos, como, por exemplo, goma de mascar, sobremesas congeladas, biscoitos, coberturas, bolos, recheios e também em produtos de higiene bucal, creme dental e enxaguatório bucal (PATRIARCA et al., 2011). Pode ser obtido pela redução da glicose, substituindo o grupo aldeído por um grupamento hidroxila (Figura 4). Apresenta cerca de 50% a 60% da doçura da sacarose, atua como edulcorante, espessante e umectante (PATRA; TOMAR; ARORA, 2009). Como umectante, mantém a umidade dos produtos, evitando o ressecamento, principalmente de produtos assados (GOSH; SHUDA, 2012). Sua utilização como agente umectante também é favorável em produtos de confeitaria, pastelaria e em chocolates. Essa propriedade de estabilização da umidade e outras propriedades do sorbitol protegem esses produtos do ressecamento, mantendo a frescura inicial do produto durante o armazenamento (PATRIARCA et al., 2011).

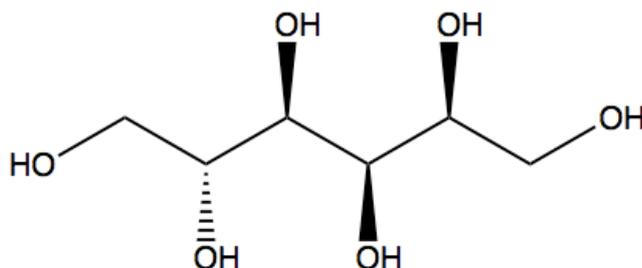


Figura 4 Estrutura do sorbitol  
Fonte: ESTRUTURA... (2014)

O uso de sorbitol nas indústrias é bastante variado. É utilizado na indústria farmacêutica como laxante, na elaboração de medicamentos para prisão de ventre. Atua na absorção de certos minerais (C, Sr, F) e da vitamina B12 (PATRA; TOMAR; ARORA, 2009). Além disso, alguns estudos revelam que o sorbitol tem propriedades antioxidantes (PATRA; TOMAR; ARORA, 2009; SHIH-YUNG; KAO, 2003).

A absorção do sorbitol é lenta. Ele é absorvido pelo intestino por difusão passiva, que é mais lenta que a absorção da frutose e da glicose, o que, efetivamente, reduz o seu poder calórico (MACKENZIE et al., 1986). Vários testes realizados com sorbitol deram resultados negativos para mutagenicidade, porém, seu uso indiscriminado e em altas concentrações tem efeito laxativo (JANA; JOSHI; SHARMA, 1994; MACKENZIE et al., 1986).

Doces elaborados unicamente com sorbitol não podem ser armazenados por longos períodos, devido à sua elevada higroscopicidade. Um grande problema associado ao uso de sorbitol em geleias armazenadas por longos períodos é a sinerese, que consiste na expulsão espontânea da fase aquosa da rede do gel, gerando contração do volume. A sinerese é um processo que depende, basicamente, da estrutura da geleia, ou seja, da quantidade e do tipo de

agente geleificante e do conteúdo de matéria seca (GOSH; SHUDA, 2012; OS POLIOIS..., 2008).

Segundo a Resolução RDC 18/2008, no Brasil não existe um limite máximo para o uso de sorbitol (BRASIL, 2008), sendo permitida a quantidade suficiente para se obter o efeito desejado.

### 2.5.2.3 Xilitol

O xilitol é um poliálcool que satisfaz às exigências do mercado, pois é capaz de substituir a sacarose na proporção de 1:1, já que apresenta doçura semelhante à da sacarose. É um álcool penta-hídrico (Figura 5), pois apresenta cinco grupos de hidroxila (OH), cada um deles ligado a um átomo de carbono (GOSH; SHUDA, 2012). Esse poliol tem elevada estabilidade química e microbiológica, tanto na forma cristalina como em solução. Pode atuar, mesmo em baixas concentrações, como conservante de produtos alimentícios, já que tem menor atividade de água que a sacarose, oferecendo resistência ao crescimento de microrganismos e aumentando a vida de prateleira desses produtos (BAR, 1991; PARAJO; DOMINGUEZ; DOMINGUEZ, 1998).

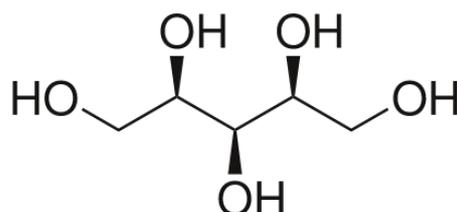


Figura 5 Estrutura do xilitol  
Fonte: ESTRUTURA... (2014)

Outra vantagem do xilitol é que ele não sofre reações de escurecimento não enzimático, uma vez que não sofre reação de “Maillard”, pois não apresenta

grupos aldeídos ou cetônicos em sua molécula, os quais poderiam participar de reações com aminoácidos (MANZ; VANNINEN; VOIROL, 1973).

O xilitol é bastante utilizado em certos produtos, como balas e goma de mascar, por apresentar um agradável efeito refrescante na boca. Isso se deve ao seu elevado calor de solução endotérmico (34,8 cal/g) (PEPPER; OLINGER, 1988; ZUMBÉ; LEE; STOREY, 2001).

O xilitol não apresenta efeitos teratogênicos, sendo considerado também atóxico. De acordo com Mussato e Roberto (2002), o uso de xilitol traz benefícios à saúde humana e pode ser empregado na área médica, para tratamento ou prevenção de doenças. Sua maior aplicação até hoje é na saúde bucal, uma vez que já foi comprovada sua eficiência contra cáries.

Segundo Gosh e Shuda (2012), o xilitol é bem tolerado quando ingerido em doses espaçadas de, no máximo, 20 g cada uma, e desde que a quantidade consumida por dia não ultrapasse 60 g, já que, em doses mais elevadas, produz efeito laxativo, devido ao fato de as bactérias intestinais não serem capazes de metabolizar altas doses de xilitol.

A legislação brasileira não faz menção ao uso do xilitol, podendo-se utilizar a quantidade necessária para se obter o efeito desejado. É considerado também umectante e um aditivo que pode ser empregado em biscoitos, bolos, pães, balas, confeitos, gomas de mascar e produtos do gênero (ANVISA, 1999, 2001; 1999; BRASIL, 2008).

## **2.6 Reologia**

Reologia é definida como a ciência da deformação e do fluxo de matéria (STEFFE, 1996), ocupando-se com a descrição das propriedades mecânicas dos vários materiais, em diferentes condições de deformação (BENEDITE, 2010; NAVARRO, 1997). Existem três maneiras de se deformar uma substância: por

cisalhamento, por extensão e por compressão volumétrica. Cada alimento tem a sua curva de escoamento/deformação característica, quando submetido a uma força, e esta informação é muito útil num grande número de aplicações industriais (STEFFE, 1996; TOLEDO, 2004).

As propriedades reológicas desempenham grande papel nas indústrias, uma vez que são utilizadas como medida de qualidade, atuando no controle e no monitoramento do processo industrial (BENEDITE, 2010). O comportamento reológico é essencial nas seguintes etapas da indústria de alimentos: engenharia de processos, controle de qualidade, avaliação sensorial e estrutura de alimentos (RAMOS, 1997; SILVA, 2010). Steffe (1996) também relata diversas áreas nas quais o conhecimento dos dados reológicos é muito importante.

As teorias clássicas descrevem o comportamento reológico de dois materiais ideais: sólido elástico e líquido viscoso. O sólido elástico tem a capacidade de se deformar e retornar à sua forma inicial, quando as forças externas que causam a deformação são retiradas. O líquido, em contraste ao sólido, não tem uma forma definida e se deforma de maneira irreversível sob a ação de forças externas (WARD; SWEENEY, 2004). Segundo Tonelli, Murr e Park (2005), a propriedade de maior interesse para reologia de sólidos é a elasticidade e, para líquidos, a propriedade mais marcante é a viscosidade. Porém, muitos fenômenos não podem ser descritos em função da viscosidade e o comportamento elástico deve ser levado em consideração (STEFFE, 1996). A combinação do comportamento do sólido elástico e do líquido viscoso resulta em um fenômeno chamado de viscoelasticidade. A grande maioria dos alimentos apresenta características de materiais viscoelásticos (RAO, 1992), ou seja, um corpo sólido pode apresentar propriedades da fase líquida e um material líquido pode revelar propriedade de um corpo sólido (PEREIRA, 2012).

Diante disso, a reologia é de extrema importância na determinação da textura dos alimentos, principalmente no desenvolvimento de produtos em que

há substituição total ou parcial da sacarose, no que essa alteração provoca mudanças nos parâmetros reológicos, sensoriais e também físico-químicos (ACOSTA; VÍQUEZ; CUBERO, 2008; HRACEK; GLIEMO; CAMPOS, 2010; PEREIRA, 2012).

Diversas análises têm sido utilizadas para determinar as propriedades reológicas dos alimentos semissólidos. Entre elas, podem-se citar a análise de perfil de textura (TPA), o teste de relaxação de tensão e o teste de compressão uniaxial.

### **2.6.1 Análise de perfil de textura**

A análise de perfil de textura (TPA) é um método que simula percepções sensoriais, empregado para avaliar propriedades de textura relacionadas com características sensoriais (BOURNE, 2002). Esse teste refere-se à sensação humana no comportamento reológico dos alimentos durante a mastigação e a deglutição (STEEFE, 1996), consistindo em comprimir o alimento (amostra do estudo) duas vezes, com um movimento de vaivém, para simular a ação da mandíbula. Por conseguinte, uma primeira compressão e relaxação, seguida por uma segunda compressão, é realizada durante o teste. Este teste gera uma curva da força em função do tempo (Figura 6), a partir da qual os parâmetros de textura são calculados (BOURNE, 2002; HERRERO; HEIA; CARECHE, 2004; HONIKEL, 1998; LAU; TANG; PAULSON, 2000).

Cada área formada pela curva representa uma característica de textura do alimento (dureza, coesividade, adesividade, fraturabilidade e elasticidade). Na Figura 6, as áreas A1 e A3 representam o primeiro ciclo de compressão e a área A2, o segundo ciclo, ou seja, representam duas movimentações da boca humana durante a mastigação do alimento. O ponto A é o início da primeira compressão e o ponto B é o início da segunda compressão. O pico máximo da

curva da área A1 indica a dureza do produto. A fraturabilidade, mostrada na Figura 6, é definida como a força de quebra significativa gerada no primeiro ciclo de compressão. A área negativa do primeiro ciclo (A3) de compressão descreve a força necessária para a retirada do probe do alimento, ou seja, sua adesividade. Já a área A2 representa o segundo ciclo de compressão, que é menor que do primeiro ciclo, significando que a estrutura interna do produto foi rompida durante a primeira compressão. Assim, a relação  $A2/A1$  foi definida como coesividade, interpretada pela quantidade de energia necessária para romper a estrutura interna do produto e a distância entre o ponto B e C (fim da primeira mordida e o início da segunda mordida) é o grau que o produto se recupera após a compressão, ou seja, a elasticidade do alimento (BOURNE, 1978, 2002).

Além desses cinco parâmetros, extraíveis diretamente da curva, a combinação de alguns deles fornece valores que se relacionam com outras características sensoriais, como mastigabilidade e gomosidade (BOURNE, 2002; COSTELL; FIZMAN; DURAN, 1997). A distinção entre gomosidade e mastigabilidade é um parâmetro mutuamente exclusivo e isso passa, muitas das vezes, despercebido, já que o mesmo produto não pode ser semissólido e sólido ao mesmo tempo (BOURNE, 2002; STEFFE, 1996).

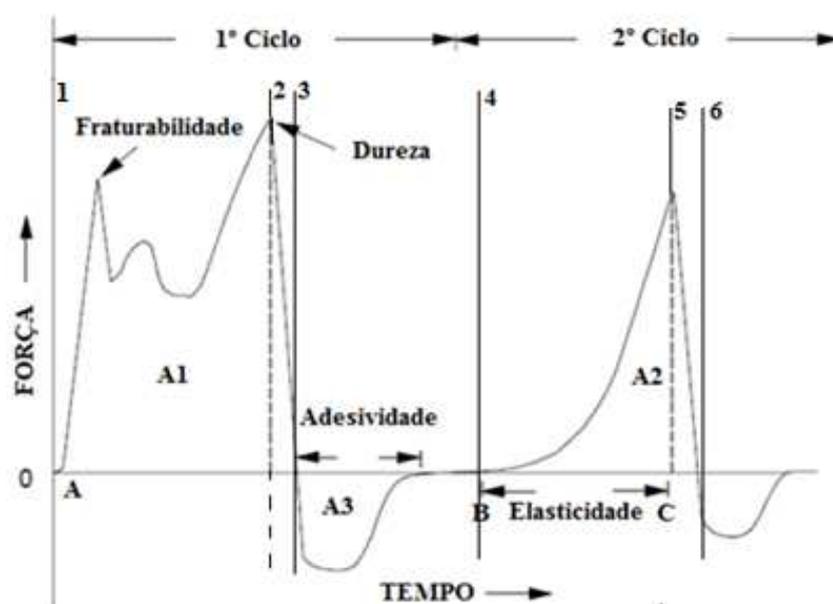


Figura 6 Curva típica de análise de perfil de textura  
 Fonte: Adaptado de Bourne (2002) e Steffe (1996)

Os parâmetros do TPA podem ser definidos instrumentais, física e sensorialmente (CIVILLE; SZCZESNIAK, 1973), tendo sido modificados por Bourne (1978) e Bourne (2002) e apresentados por Silva et al. (2012), conforme Tabela 1.

Tabela 1 Definições das propriedades do perfil de textura

<b>Parâmetros</b>	<b>Instrumental</b>	<b>Física</b>	<b>Sensorial</b>
<b>Dureza/firmeza</b>	É definida como o pico de força durante o primeiro ciclo de compressão.	Força necessária para produzir certa deformação.	Força requerida para a compressão entre os dentes molares (para sólidos) e entre a língua e o palato (para semissólidos).
<b>Fraturabilidade</b>	Quebra na curva do primeiro ciclo de compressão.	Força com que o material fratura.	-----
<b>Coesividade (A<sub>4,6</sub>/A<sub>1,3</sub>)</b>	Razão da força positiva da área do segundo ciclo de compressão pelo primeiro ciclo de compressão.	Quantidade de energia necessária para romper as ligações internas das amostras.	Razão da força positiva da área do segundo ciclo de compressão pelo primeiro ciclo de compressão.
<b>Elasticidade (B-C) ou (t<sub>4,5</sub>/t<sub>1,2</sub>)</b>	É a medida que o alimento atinge entre o final do primeiro ciclo de compressão e o segundo ciclo. Também pode ser calculada como t <sub>4,5</sub> /t <sub>1,2</sub> .	Velocidade na qual um material deformado e volta à condição não deformada depois que a força de compressão é removida.	Grau que o produto volta à sua forma original.
<b>Adesividade (A3)</b>	É a área de força negativa do primeiro ciclo de compressão, representando a força necessária para a retirada da probe do alimento.	Trabalho necessário para superar as forças atrativas entre a superfície do alimento e outra superfície com a qual o alimento está em contato.	Força requerida para remover o alimento que adere à boca (palato).
<b>Gomosidade</b>	É definida como o produto entre firmeza e coesividade.	Força para mastigar alimentos semissólidos até a deglutição.	Força requerida para desintegrar uma amostra semissólida à consistência adequada para a deglutição.
<b>Mastigabilidade</b>	É definida como o produto entre coesividade, dureza e elasticidade.	Força para mastigar alimentos sólidos até a deglutição.	Força requerida para desintegrar uma amostra sólida à consistência adequada para deglutição.

Fonte: Bourne (1978, 2002) e Silva (2012)

Em experiências de TPA, as amostras são, normalmente, submetidas a grandes deformações (75%-80%), porém, recomendam menores valores de deformação, entre 20% a 50%, em sistemas alimentares de géis, pois grandes deformações desmoronam as amostras e os parâmetros obtidos se tornam incoerentes (HUANG et al., 2007; PONS; FISZMAN, 1996). Além disso, nesses níveis, as amostras não quebram e será possível obter informações valiosas das propriedades de textura (PONS; FISZMAN, 1996). A avaliação de sistemas gelificantes pelo perfil de textura tem sido extensivamente utilizada por diversos autores (HUANG et al., 2007; JIMENEZ-COLMENERO et al., 2013; PEREIRA et al., 2013; SOUZA et al., 2014; TENG; CHIN; YUSOF, 2011, 2013; THRIMAWITHANA et al., 2010).

### **2.6.2 Teste de relaxação**

O teste de relaxação é um dos mais importantes instrumentos de avaliação utilizados para determinar propriedades viscoelásticas de materiais (CAMPUS et al., 2010). Esse teste consiste na aplicação de uma deformação instantânea a um corpo e na manutenção dessa deformação durante todo o período do teste (Figura 7) (CAMPUS et al., 2010; RAO, 1992; STEFFE, 1996). Dados do teste de relaxação podem ser obtidos de acordo como o corpo reage à tensão imposta e é observado em função do tempo (STEFFE, 1996; WARD; SWEENEY, 2004). Segundo Cunha (2002) e Peleg (1987), para minimizar a ocorrência de alterações físicas no material (principalmente em alimentos) é importante que o tempo em que a deformação é aplicada seja suficientemente pequeno (na ordem de 10 minutos ou menos).

Na Figura 7 mostra-se um amplo comportamento de alguns materiais submetidos ao teste de relaxação. Nos materiais elásticos ideais não é observado nenhum tipo de relaxamento, enquanto nos matérias viscosos a relaxação ocorre

imediatamente. Os materiais viscoelásticos relaxam gradualmente e o ponto final depende da estrutura molecular do tipo de material a ser testado. Por exemplo, os sólidos viscoelásticos relaxam até uma tensão de equilíbrio (tensão > 0); já os líquidos viscoelásticos relaxam até a tensão chegar a zero (STEFFE, 1996).

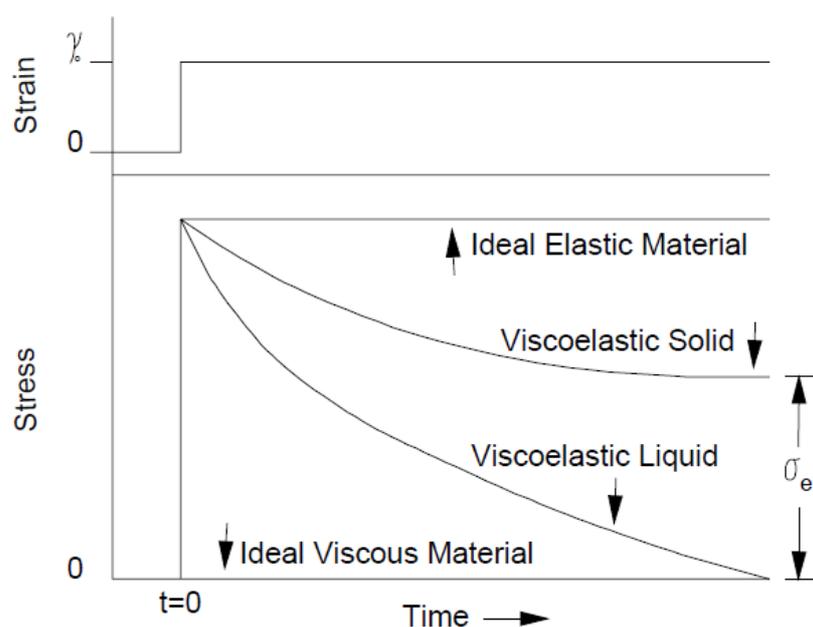


Figura 7 Curvas de relaxamento de tensão  
Fonte: Steffe (1996)

Na literatura existem vários modelos matemáticos que explicam o comportamento viscoelástico dos produtos alimentares. Dentre eles, o modelo de Maxwell e o de Peleg são utilizados com mais frequência para descrever o comportamento de géis e de sistemas alimentares (ANDRÉS; ZARITZKY; CALIFANO, 2008; DE RENSIS; PETENATE; VIOTTO, 2009; MORALES et al., 2007; PEREIRA et al., 2013a, 2013b).

O modelo de Maxwell envolve dois elementos simples combinados em série para representar diferentes comportamentos (Figura 8). Estes dois

elementos são o elemento ideal elástico, que pode ser representado como uma mola e tem um comportamento definido por uma constante elástica  $E$ , e o elemento ideal viscoso, o qual é representado por um amortecedor de ar e tem um comportamento definido pela sua viscosidade  $\eta$  (CAMPUS et al., 2010).

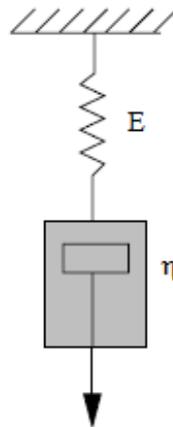


Figura 8 Representação esquemática do modelo de Maxwell  
Fonte: Adaptado por Steefe (1996)

No modelo de Maxwell com uma deformação constante ( $\varepsilon_0$ ),  $\sigma$  descreve a tensão aplicada a partir de  $\sigma_0$  por  $\sigma(t)$ , após o tempo  $t$  (NOBILE et al., 2007), como se segue.

$$\sigma(t) = \varepsilon_0 \left( E \cdot \exp(-t/\lambda) + E_e \right) \quad (1)$$

em que  $E$  é o módulo de elasticidade do material;  $E_e$  é o módulo de elasticidade de equilíbrio;  $\lambda$  é o tempo de relaxação dado por  $\eta / E$ .

Devido à complexidade de alguns alimentos, o modelo de Maxwell simplificado não é adequado, surgindo a necessidade de modelos mais completos, como o de Maxwell generalizado (STEEFE, 1996), que consiste de

um número infinito de modelos de Maxwell em paralelo com uma mola (Figura 9). Esse modelo representa melhor os materiais viscoelásticos, incluindo os materiais biológicos, uma vez que eles não se relaxam com uma velocidade uniforme e, sim, em etapas distintas com mais de um tempo de relaxação (TOLEDO, 2004).

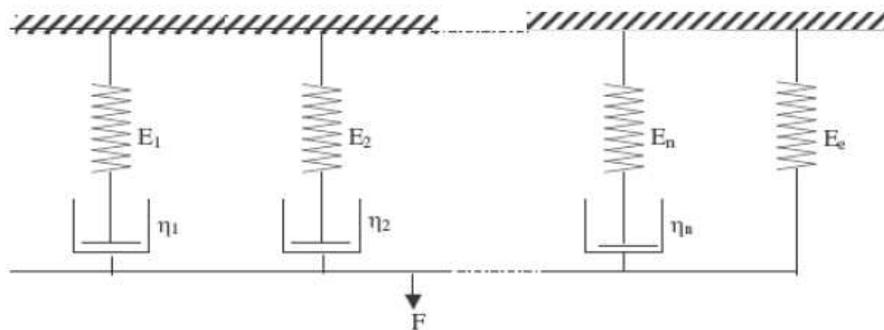


Figura 9 Representação esquemática do modelo de Maxwellll generalizado  
Fonte: Costell, Fizman e Duran (1997)

As curvas de relaxação de tensão (tensão em função do tempo) podem ser ajustadas por meio da equação 2, a qual fornece os parâmetros viscoelásticos do modelo de Maxwell generalizado.

$$\sigma(t) = \varepsilon_0 \left( E_1 \exp(-t/\lambda_1) + E_2 \exp(-t/\lambda_2) + \dots + E_e \right) \quad (2)$$

em que  $E_1, E_2 \dots$  são o módulo de elasticidade do corpo elástico ideal;  $E_e$  é o módulo de elasticidade de equilíbrio e  $\lambda_1, \lambda_2 \dots$  são os tempos de relaxação.

A viscosidade do elemento  $i$  pode ser calculada de acordo com a equação 3.

$$\eta_i = E_i \lambda_i \quad (3)$$

Peleg e Normand (1983) observaram dois grandes problemas na obtenção dos dados de relaxamento de tensão dos alimentos. São eles: 1) quando submetidos a grandes deformações, os alimentos apresentam comportamento viscoelástico não linear e 2) a atividade biológica dificulta a determinação dos parâmetros mecânicos. Dessa forma, para superar essas dificuldades, um terceiro modelo é utilizado, de forma que a tensão é calculada como tensão normalizada, conforme a equação 4 (PELEG; NORMAND, 1983; STEFFE, 1996). Esse modelo é utilizado para o ajustamento dos dados de relaxamento de tensão.

$$\frac{\sigma_0 t}{\sigma_0 - \sigma(t)} = k_1 + k_2 t \quad (4)$$

em que  $\sigma(t)$  é a tensão em qualquer momento durante o teste;  $\sigma_0$  é a tensão inicial de relaxamento e  $k_1$  e  $k_2$  são constantes.

O modelo de Peleg utiliza somente dois parâmetros, o inverso de  $k_1$  representa a taxa de decaimento inicial e o inverso de  $k_2$  é o valor teórico de força normalizada assintótica que permanece sem relaxar (RODRIGUEZ-SANDOVAL; FERNÁNDEZ-QUINTERO; CUVELIER, 2009; TANG; TUNG; ZENG, 1998). O parâmetro  $k_1$  refere-se à facilidade com que o material se deforma. Maiores valores de  $k_1$  sugerem um material mais duro, o qual dissipa menos energia, exigindo, assim, mais força para ser comprimido (GUO; CASTELL-PEREZ; MOREIRA, 1999; RODRIGUEZ-SANDOVAL; FERNÁNDEZ-QUINTERO; CUVELIER, 2009; PEREIRA, 2012), enquanto o parâmetro  $k_2$  é o grau de relaxamento do material (BELLIDO; HATCHER, 2009; GUO, CASTELL-PEREZ; MOREIRA, 1999; RODRIGUEZ-

SANDOVAL; FERNÁNDEZ-QUINTERO; CUVELIER, 2009; PEREIRA, 2012).

### 2.6.3 Teste de compressão uniaxial

Em ensaios de compressão uniaxial, uma determinada deformação ( $\varepsilon$ ) é imposta e a resposta tensão normal ( $\sigma$ ) é tomada em função do tempo. Esta deformação pode ser suficientemente elevada para levar à ruptura do material. No ponto de ruptura, podem-se determinar as propriedades que fornecem informações sobre as características do material e correlacioná-las com a textura do produto. A tensão de ruptura ( $\sigma_{rup}$ ) e a deformação de ruptura (deformação de Hencky -  $\varepsilon_{rup}$ ) devem ser utilizadas em ensaios de ruptura com altos valores de deformação porque consideram as modificações pelas quais o material passa durante o experimento (STICKLAND; BUSCAL, 2009).

Por meio do teste de compressão uniaxial podem-se obter parâmetros reológicos importantes do material. Na fase inicial do teste há apenas o componente elástico, e a relação tensão *versus* deformação apresenta comportamento linear (Figura 10). Assim, pode ser obtido o módulo de elasticidade (E) pela inclinação da reta (COSTELL; FIZMAN; DURAN, 1997). Já o trabalho de Ruptura ( $W_{rup}$ ) é dado pela área sob a curva até o ponto de ruptura (THYBO; NIELSEN; MARTENS, 1999).

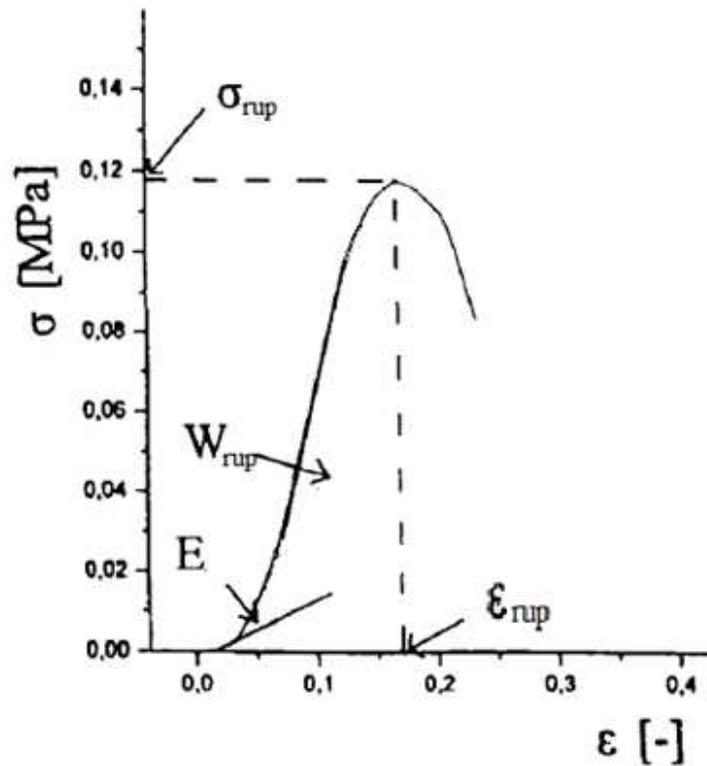


Figura 10 Representação esquemática da curva tensão *versus* deformação  
 Fonte: Adaptado de Thybo, Nielsen e Martens (1999)

A tensão de ruptura ( $\sigma_{rup}$ ) e a deformação de ruptura (deformação de Hencky -  $\epsilon_{rup}$ ) são definidas, respectivamente, pelas Equações 4 e 5, de acordo com Bayarri, Duran e Costell (2003).

$$\sigma = F \left( \frac{h_0 - \Delta h}{A_0 h_0} \right) \quad (4)$$

$$\varepsilon = \ln\left(\frac{h_0}{h_0 - \Delta h}\right) \quad (5)$$

em que  $F$  é a força aplicada na amostra;  $h_0$  é a altura inicial;  $A_0$  é a área da amostra inicial e  $\Delta h$  é a mudança na altura durante a compressão.

De acordo com Cunha (2002), a tensão ( $\sigma$ ) é definida como a tensão necessária para romper a matriz alimentícia, enquanto a deformação ( $\varepsilon$ ) indica o quão quebradiça é a textura do alimento, isto é, até que ponto o produto pode ser deformado sem se romper. Materiais com altos valores de tensão e deformação de ruptura são rígidos e fortes, enquanto materiais com elevada tensão de ruptura, mas com baixo valor de deformação de ruptura, são rígidos e quebradiços (CUNHA, 2002; PEREIRA et al., 2013).

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos estudos dos efeitos com agentes de corpo nas propriedades físico-químicas e sensoriais em doces de frutas do cerrado *diet*, os resultados mostraram que essas propriedades foram afetadas pelos agentes de corpo, em seus respectivos coeficientes lineares, ou seja, como componentes puros, com exceção da sinerese nos doces elaborados com pectina BTM, sendo afetada somente pelo sorbitol e polidextrose.

O eritritol e a polidextrose não devem ser utilizados como componentes puros, nos doces elaborados com ambas as pectinas e nas concentrações utilizadas neste trabalho, uma vez que provocaram alterações nas propriedades físico-químicas, influenciando negativamente as notas dos atributos sensoriais dos doces. Já o xilitol proporcionou menores valores de atividade de água e também melhores notas sensoriais. O sorbitol, embora tenha se destacado também na análise sensorial, assim como o xilitol, provocou maiores valores de sinerese nos doces com pectina ATM.

Observou-se que, no geral, os valores de umidade e sinerese tendem a ser mais elevados para os doces elaborados com pectina ATM. Para as demais variáveis resposta e também para os atributos sensoriais, pode-se dizer que os valores foram próximos para ambas as pectinas. Porém, em relação à aceitabilidade, o tipo de pectina não interferiu nos resultados e, sim, os agentes de corpo.

Em relação aos parâmetros reológicos, eles também foram afetados pelos agentes de corpo, tendo o efeito do eritritol sido maior para dureza, adesividade, gomosidade, módulos elásticos ( $E_e$  e  $E_1$ ), viscosidade, tensão de ruptura ( $\sigma_{rup}$ ), módulo de elasticidade ( $E$ ) e trabalho de ruptura ( $W_{rup}$ ). Portanto, o uso do eritritol possibilitou a produção de doces mais duros e quebradiços, com menor aceitação sensorial. Por outro lado, o xilitol e o

sorbitol deixaram os doces mais elásticos, coesivos e mais dúcteis (maiores valores de deformação de ruptura). Já a polidextrose apresentou efeito sinérgico com o eritritol para deformação de ruptura ( $\epsilon_{rup}$ ) e menores efeitos para dureza, adesividade e gomosidade. Além disso, a formulação elaborada com o eritritol foi a menos aceita quanto ao atributo textura da análise sensorial, uma vez que ficou dura e quebradiça, sendo correlacionada com a maior parte dos parâmetros reológicos por apresentar altos valores desses parâmetros.

## REFERÊNCIAS

ACOSTA, O.; VÍQUEZ, F.; CUBERO, E. Optimisation of low calorie mixed fruit jelly by response surface methodology. **Food Quality and Preference**, Barking, v. 19, p. 79-85, 2008.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução nº 386 de 5 de agosto de 1999**. Disponível em: <[http://www.anvisa.gov.br/base/visadoc/res/res\[1747-1-0\].doc](http://www.anvisa.gov.br/base/visadoc/res/res[1747-1-0].doc)>. Acesso em: 15 out. 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução nº 3, de 2 de janeiro de 2001**. Disponível em: <[http://www.anvisa.gov.br/base/visadoc/res/res\[1727-1-0\].doc](http://www.anvisa.gov.br/base/visadoc/res/res[1727-1-0].doc)>. Acesso em: 15 out. 2013.

AGOSTINI-COSTA, T.; VIEIRA, R. F. **Frutas nativas do cerrado: qualidade nutricional e sabor peculiar**. 2000. Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=../biotecnologia/index.html>>. Acesso em: 15 out. 2013.

ALBUQUERQUE, J. P. Fatores que influenciam no processamento de geleias e geleadas de frutas. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 31, n. 1, p. 62-67, 1997.

ALMEIDA, E. L. et al. Análise de perfil de textura e aceitabilidade sensorial de goiabadas desenvolvidas com diferentes edulcorantes. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 56, n. 6, p. 697-704, 2009.

ALMEIDA, M. M. B. et al. Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh exotic fruits from northeastern Brazil. **Food Research Interational**, Barking, v. 44, p. 2155-2159, 2011.

ALMEIDA, S. P. **Cerrado: aproveitamento alimentar**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1998.

ALMRHAG, O. et al. Analysis on the effectiveness of co-solute on the network integrity of high methoxy pectin. **Food Chemistry**, London, v. 135, n. 3, p. 1455-62, 2012.

ALONSO, S.; SETSER, C. Functional replacements for sugars in foods. **Trens in Food Science & Technology**, Oxford, v. 5, p. 40-46, 2004.

ANDRÉS, S. C.; ZARITZKY, N. E.; CALIFANO, A. N. Stress relaxation characteristics of low-fat chicken sausages made in Argentina. **Meat Science**, Barking, v. 79, p. 589-594, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIA E DE ALIMENTOS PARA FINS ESPECIAIS E CONGÊNESES. Tendências no mercado de Alimentos, 2010. Disponível em: <[www.abiad.org.br](http://www.abiad.org.br)>. Acesso em: 12 ago. 2013.

AVIDOS, M. F. D.; FERREIRA, L. T. **Frutos do cerrado**: preservação gera muitos frutos. 2003. Disponível em: <<http://www.biotecnologia.com.br/bio15/frutos.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2013.

AZIZ, P. A.; YUSOF, S. Physico-chemical characteristics of soursop fruit (*Annona muricata*) during growth and development. **Asean Food Journal**, Cambridge, v. 9, p. 147-150, 1994.

BAR, A. Xylitol. In: O'BREIN NABORS, L.; GELARDI, R. C. (Ed.). **Alternative sweeteners**. 2nd. ed. New York: M. Dekkor, 1991. p. 349-379.

BARRERA, A. M. et al. Effect of pectins on the gelling properties of surimi from silver carp. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v.16, p.441-447, 2002.

BAYARRI, S.; DURÁN, L.; COSTELL, E. Compression resistance, sweetener's diffusion and sweetness of hydrocolloids gels. **International Dairy Journal**, Barking, v. 13, p. 643-653, 2003.

BELLIDO, G. G.; HATCHER, D. W. Stress relaxation behaviour of yellow alkaline noodles: effect of deformation history. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 93, p. 460-467, 2009.

BENEDITTI, P. C. D. **Caqui em pó**: influência de aditivos e do método de secagem. 2010. 126 p. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Alimentos) - Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2010.

BERG, S. et al. Influence of different pectins on powder characteristics of microencapsulated anthocyanins and their impact on drug retention of shellac coated granulate. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 108, n. 1, p. 158-165, 2012.

BERNT, W. O. et al. Erythritol: a review of biological and toxicological studies. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, Duluth, v. 24, p. 191-197, 1996.

BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Introdução à química de alimentos**. 3. ed. São Paulo: Varela, 2003. 238 p.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO F. O. **Química do processamento de alimentos**. 2. ed. São Paulo: Varela, 1992. 151 p.

BOURNE, M. C. **Food texture and viscosity: concept and measurement**. 2. ed. San Diego: Academic, 2002. 423 p.

BOURNE, M. C. Texture profile analysis. **Food Technology**, Chicago, v. 32, p. 62–66, 1978.

BRAGA, M. F. et al. Maracujá-do-Cerrado. In: FRUTAS nativas da Região Centro-Oeste do Brasil. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2006. p. 216-233.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Portaria nº 29 de 13 de jan. de 1998**. Aprova o regulamento técnico referente a alimentos para fins especiais. Disponível em: <<http://www.anvisa.org.br>>. Acesso em: 15 jul. 2013.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC n. 272, de 22 de setembro de 2005**. Regulamento técnico para produtos de vegetais, produtos de frutas e cogumelos comestíveis. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br/e-legis/>>. Acesso em: 18 jul. 2013.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC n. 18, de 24 de março de 2008**. Regulamento técnico que autoriza o uso de aditivos edulcorantes em alimentos, com seus respectivos limites máximos. Disponível em: <<http://www.brasilsus.com.br/legislacoes/rdc/12968-18.html>>. Acesso em: 20 jun. 2013.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC n. 54 de 12 de novembro de 2012**. Regulamento técnico sobre informação nutricional complementar. Disponível em: <[http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/630a98804d7065b981f1e1c116238c3b/Resolucao+RDC+n.+54\\_2012.pdf?MOD=AJPERESp.2](http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/630a98804d7065b981f1e1c116238c3b/Resolucao+RDC+n.+54_2012.pdf?MOD=AJPERESp.2)> Acesso em: 11 mar. 2013.

BRENNER, T. et al. Rheology and synergy of carrageenan/locust bean gum/konjac. Glucomannan gels. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 98, p. 754-760, 2013.

CAMPO, V. M. C. **Produção de doces diet para diabéticos**. Belo Horizonte: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, 2007. 25 p. Dossiê Técnico. Disponível em: <<http://www.sbrt.ibict.br>>. Acesso em: 22 nov. 2014.

CAMPOS, A. M. **Efeito de adoçantes e edulcorantes na formulação de geleias de fruta com pectina amidada**. 1993. 166 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Química) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.

CAMPOS, M. B. Chocolates sem adição de açúcar: matérias-primas, formulações, processos de produção e análise sensorial. In: MANUAL Técnico do Seminário Produtos Diet e Light. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 2000. 154 p.

CAMPUS, M. et al. Stress relaxation behaviour and structural changes of muscle tissues from Gilthead Sea Bream ( *Sparus aurata* L .) following high pressure treatment. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 96, p. 192–198, 2010.

CARDOSO, J. M. P.; BATTACHIO, J. R.; CARDELLO, H. M. A. B. Equivalência de dulçor e poder edulcorante de edulcorantes em função da temperatura de consumo em bebidas preparadas com chá-mate em pó solúvel. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 3, p. 448-452, 2004.

CARDOSO, L. M. et al. Cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) of the Cerrado of Minas Gerais, Brazil: Physical and chemical characterization, carotenoids and vitamins. **Food Research International**, Essex, v. 44, p. 2151-2154, 2011.

CARRAGENA: um alimento indispensável! **Aditivos & Ingredientes**, São Paulo, n. 6, p. 22-32, 2000.

CARVALHO, J. A. Marolo: o doce sabor do cerrado: sugestões de cultivo. **Folha Machadense**, Machado, 2002.

CHIM, J. F.; ZAMBIAZI, R. C.; BRUSCATTO, M. H. Doces em massa light de morango: caracterização físico-química e sensorial. **Alimentos e Nutrição**, Marília, v. 17, n. 3, p. 295-301, 2006.

CHING, T. L.; HAENEN, G. R.; BAST, A. Cimetidine and other H2 receptor antagonists as powerful hydroxyl radical scavengers. **Chemico-Biological Interactions**, Amsterdam, v. 86, p. 119-127, 1993.

CIVILLE, G. V.; SZCZESNIAK, A. S. Guidelines to training a texture profile panel. **Journal of Texture Studies**, Westport, v. 4, p. 204–223, 1973.

COELHO, M. T. **Pectina**: características e aplicações em alimentos. 2008. 32 f. Trabalho Acadêmico (Bacharelado em Química) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008.

COSTELL, E.; FISZMAN, S. M.; DURÁN, L. Propiedades físicas I: reología de sólidos y textura. In: AGUILERA, J. M. (Ed.). **Temas em tecnologia de alimentos, CYTED**. México: Instituto Politécnico Nacional, 1997. Cap. 6, p. 215-260.

CRISTENSEN, S. H. Pectins. In: GLICKSMAN, M. (Ed.). **Food hydrocolloids**. Boca Raton: CRC, 1986. v. 3, p. 205-230.

CUNHA, C. R. **Efeito do uso de retentados de baixo fator de concentração no rendimento, proteólise e propriedades viscoelásticas de queijo minas frescal de reduzido teor de gordura**. 129 p. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

DAKIA, P. A. et al. Composition and physicochemical properties of locust bean gum extracted from whole seeds by acid or water dehulling pre-treatment. **Food Hydrocolloids**, Oxford, n. 22, p. 807-818, 2008.

DAMIANI, C. et al. Study of the shelf-life of a mixed araçá ( *Psidium guineensis* Sw .) and marolo ( *Annona crassiflora* Mart .) jam. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 32, n. 2, p. 334–343, 2012.

DE RENSIS, C. M. V. B.; PETENATE, A. J.; VIOTTO, W. H. Caracterização físico-química , reológica e sensorial de queijos tipo Prato com teor reduzido de gordura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 3, p. 488–494, 2009.

DRUZIAN, J. I.; DOKI, C.; SCAMPARINI, A. R. P. Determinação simultânea de açúcares e polióis por cromatografia líquida de alta eficiência (clae-ir) em sorvetes de baixas calorias ("diet"/ "light"). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 2, p. 279-284, 2005.

ESTRUTURA do eritritol – Imagem. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Eritritol>>. Acesso em: 23 jun. 2014.

ESTRUTURA do sorbitol – Imagem. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Sorbitol>>. Acesso em: 23 jun. 2014.

ESTRUTURA do xilitol – Imagem. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Xilitol>>. Acesso em: 22 jun. 2014.

FAKHOURI, F. M. et al. Aceitação e intenção de compra de massas alimentícias frescas enriquecidas com extratos vegetais In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIA DE ALIMENTOS, 6., 2005, Campinas. **Anais...** Campinas: SLACA, 2005. 1 CD ROM.

FELLOWS, P. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602 p.

FENNEMA, O. R. **Química de alimentos**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

FISZMAN, S. M. Propiedades funcionales de los hidrocoloides polisacarídicos-mecanismos de gelificación. **Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos**, Valencia, v. 29, n. 4, p. 415-429, 1989.

FRAEYE, I. et al. Influence of intrinsic and extrinsic factors on rheology of pectin–calcium gels. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 23, n. 8, p. 2069–2077, 2009.

FU, J. T.; RAO, M. A. Rheology and structure development during gelation of low-methoxyl pectin gels: the effect of sucrose. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 15, n. 1, p. 93–100, 2001.

GARCÍA-GARCÍA, E.; TOTOSAUS, A. Low-fat sodium-reduced sausages: effect of the interaction between locust bean gum, potato starch and k-carrageenan by a mixture design approach. **Meat Science**, Barking, n. 78, p. 406-413, 2008.

GAVA, A. J. **Princípios de tecnologia de alimentos**. 2. ed. São Paulo: Nobel, 1998. 284 p.

GHOSH, S.; SHUDA, M. L. A review on polyols: new frontiers for health-based bakery products. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, Basingstoke, v. 63, n. 3, p. 372-379, 2012.

GLIEMMO, M. F. et al. Interactions between aspartame , glucose and xylitol in aqueous systems containing potassium sorbate. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 41, p. 611-619, 2008.

GOMES, C. R. et al. Influência de diferentes agentes de corpo nas características reológicas e sensoriais de chocolates diet em sacarose e light em calorias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 3, p. 614-623, 2007.

GRANADA, G. G. et al. Caracterização física, química, microbiológica e sensorial de geleias light de abacaxi. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 4, p. 110-123, 2005.

GROSSO, C. F. **Efeito de diferentes açúcares, pectinas e ligações de água na formação de géis pécticos**. 1992. 116 p. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1992.

GROSSO, C. R. F.; BOBBIO, P. A.; AIROLDI, C. Effect of sugar and sorbitol on the formation of low methoxyl pectin gels. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 41, p. 421-424, 2000.

GUO, Z.; CASTELL-PEREZ, M. E.; MOREIRA, R. G. Characterization of masa and low-moisture corn tortilla using stress relaxation methods. **Journal of Texture Studies**, Westport, v. 30, p. 197-215, 1999.

HAYES, C. The effect of noncariogenic sweeteners on the prevention of dental caries: A review of the evidence. **Journal of Dental Education**, v.65, p.1106–1109, 2001.

HERRERO, A. M.; HEIA, K.; CARECHE, M. Stress relaxation test for monitoring post mortem textural changes of ice-stored cod (*Gadus morhua* l.). **Journal of Food Science**, Chicago, v. 69, n. 4, p. 1–4, 2004.

HIRASAWA, M.; TAKEUCHI, T.; IKEDA, T. Non-cariogenicity of erythritol as a substrate. **Journal of Dental Research**, Washington, v. 67, p. 925, 1988.

HONIKEL, K. O. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. **Meat Science**, Barking, v. 49, p. 447–57, 1998.

HRACEK, V. M.; GLIEMMO, M. F.; CAMPOS, C. A. Effect of steviosides and system composition on stability and antimicrobial action of sorbates in acidified

model aqueous systems. **Food Research International**, Barking, v. 43, n. 8, p. 2171–2175, 2010.

HUANG, M. et al. Characters of rice starch gel modified by gellan, carrageenan, and glucomannan : a texture profile analysis study. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 69, p. 411–418, 2007.

HU, Y. et al. Solubility of erythritol in different aqueous solvent mixtures. **Journal of Molecular Liquids**, Amsterdam, v. 169, p. 74–79, 2012.

HYAMS, J. S. Sorbitol intolerance: an unappreciated cause of functional gastrointestinal complaints. **Gastroenterology**, Baltimore, v. 84, p. 30-33, 1983.

IGUAL, M.; CONTRERAS, C.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Colour and rheological properties of non-conventional grapefruit jams : Instrumental and sensory measurement. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 56, p. 200–206, 2014.

JACKIX, M. H. **Doces, geleias e frutas em calda**. São Paulo: Ícone, 1988. p. 85-158.

JANA, A. H.; JOSHI, N. S. S.; SHARMA, A. M. Sweeteners for frozen success a review. **Australian Journal of Dairy Technology**, Highett, v. 49, p. 98-109, 1994.

JIE, Z. et al. Studies on the effects on the polidextrose intake on physiologic functions on Chinese people. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 72, n. 6, p. 1503-1509, 2000.

JIMENEZ-COLMENERO, E. et al. Konjac gel for use as potential fat analogue for healthier meat product development: effect of chilled and frozen storage. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 30, p. 351-357, 2013.

JULIAN, S. **Polydextrose fiber ingredients**. Boca Raton: CRC, 2009.

KEARSLEY, M. W.; DEIS, R. C. Maltitol and maltitol syrups. In: MITCHELL, H. (Ed.). **Sweeteners and sugar alternatives in food technology**. Oxford: Blackwell, 2006a. p. 223–248.

KEARSLEY, M. W.; DEIS, R. C. Sorbitol and mannitol. Sweeteners and sugar alternatives in food technology. In: MITCHELL, H. (Ed.). **Sweeteners ... alternatives in food technology**. Oxford: Blackwell, 2006b. p. 249–261.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, p. 147-155, 2005.

KOCER, D. et al. Bubble and pore formation of the high-ratio cake formulation with polydextrose as a sucrose and fat replacer. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 78, n. 3, p. 953-964, 2007.

KROGER, M.; MEISTER, K.; KAVA, R. Low-calorie sweeteners and other sugar substitutes: a review of the safety issues. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, Hoboken, v. 5, n. 2, p. 35-47, 2006.

KRUGER, C. Azucar. **Ducelândia**, [S. l.], v. 6, p. 3-15, 1999. (Parte 2).

LAU, M. H.; TANG, J.; PAULSON, A. T. Texture profile and turbidity of gellan/gelatin mixed gels. **Food Research International**, Barking, v. 33, p. 665-671, 2000.

LAZARIDOU, A.; VAIKOUSI, H.; BILIADERIS, C. G. Effects of polyols on cryostructurization of barley b-glucans. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 22, p. 263-277, 2008.

LEE, A.; STOREY, D. M.; ZUMBEÂ, A. Breath hydrogen after ingestion of the bulk sweeteners sorbitol, isomalt and sucrose in chocolate. **British Journal of Nutrition**, London, v. 71, p. 731-737, 1994.

LETERME, P. et al. Mineral content of tropical fruits and unconventional foods of the Andes and the rain forest of Colombia. **Food Chemistry**, London, v. 95, p. 644-652, 2006.

LICODIEDOFF, S. **Influência do teor de pectinas comerciais nas características físico-químicas e sensoriais da geleia de abacaxi (*Ananas comosus* (L.) Merrill)**. 2008. 119 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

LIN, S. J. et al. Screening and production of erythritol by newly isolated osmophilic yeast-like fungi. **Process Biochemistry**, London, v. 36, p. 1249-1258, 2001.

LI, S. et al. Inhibitory effect of ugars and polyols on the metal-catalyzed oxidation of human relaxin. **Journal of Pharmaceutical Sciences**, Washington, v. 85, p. 868-872, 1996.

- LIU, X. et al. Effects of Polyols on the Stability of Whey Proteins in Intermediate-Moisture Food Model Systems. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 57, p. 2339-2345, 2009.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 2. ed. Nova Odessa: Plantarum, 1998.
- LOVEREN, V. C. Sugar alcohols: what is the evidence for caries - preventive and caries-therapeutic effects? **Caries Research**, Basel, v. 38, p. 286–293, 2004.
- MACKENZIE, K. M. et al. Three generation reproduction study of rats ingesting up to 10% sorbitol in the diet and a brief review of the toxicological status of sorbitol. **Food and Chemical Toxicology**, Oxford, v. 3, n. 24, p. 191-200, 1986.
- MACLEOD, A. J.; PIERIS, N. M. Volatile flavor components of soursop (*Annona muricata*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 29, p. 488–490, 1981.
- MANZ, U.; VANNINEN, E.; VOIROL, F. Xylitol: its properties and use as a sugar substitute in foods. In: FOOD, R. A. **Symposium on sugar and sugar replacements**. London: [s. n.], 1973.
- MARTÍNEZ-CERVERA, S.; SALVADOR, A.; SANZ, T. Comparison of different polyols as total sucrose replacers in muffins : thermal, rheological, texture and acceptability properties. **Food hydrocolloids**, Oxford, v. 35, n. 18, p. 1-8, 2014.
- MATTIETTO, R. A.; LOPES, A. S.; MENEZES, H. C. Caracterização física e físico-química dos frutos da cajazeira (*Spondias mombin L.*) e de duas polpas obtidas por dois tipos de extrator. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 13, n. 3, p. 156-164, 2010.
- MCGORRIN, R. J. Character-impact flavor compounds. In: MARSILI, R. (Ed.). **Sensory-directed flavor analysis**. Boca Raton: Taylor & Francis/CRC, 2007. p. 223-267.
- MELO, Q. M. S. **Frutas do Brasil**: caju, fitossanidade. Brasília: Embrapa, 2002.
- MENDONÇA, C. R. B. **Sucralose e acesulfame-k em compotas de pêssego com reduzido teor calórico**. 1999. 64 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 1999.

MENEZES, C. C. et al. Caracterização física e físico-química de diferentes formulações de doce de goiaba ( *Psidium guajava* L .) da cultivar Pedro Sato. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 3, p. 618–625, 2009.

MILOS, V.; NIKOLIC, A.; MOJOVIC, B. L. Hydrolysis of apple pectin by the coordinated activity of pectin enzymes. **Food Chemistry**, London, v. 101, p. 1-9, 2007.

MORALES, R. et al. Instrumental evaluation of defective texture in dry-cured hams. **Meat Science**, Barking, v. 76, p. 536-542, 2007.

MORRIS, E. R. et al. Conformations and interactions of pectins .1. Polymorphism between gel and solid states of calcium polygalacturonate. **Journal of Molecular Biology**, London, v. 155, n. 4, p. 507–516, 1982.

MOSCA, J. L. et al. Determination of harvest index for soursop fruits (*Annona muricata* L.). In: CONGRESO INTERNACIONAL DE ANONACEAS, 1., 1997, Chapingo. **Memorias...**Chapingo: [s. n.], 1997. 1 CD ROM.

MOSER, P.; CORNELIO, M. L.; TELIS, V. R. N. Influence of the concentration of polyols on the rheological and spectral characteristics of guar gum. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 53, n. 1, p. 29-36, Sept. 2013.

MUNHOZ, M. P.; WEBER, F. H.; CHANG, Y. K. Influência de hidrocolóides na textura de gel de amido de milho. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 3, p. 403-406, 2004.

MUNRO, I. C. et al. Erythritol: an interpretive summary of biochemical, metabolic, toxicological and clinical data. **Food and Chemical Toxicology**, Oxford, v. 36, p. 1139-1174, 1998.

MUSSATO, S. I.; ROBERTO, I. C. Xilitol: edulcorante com efeitos benéficos para a saúde humana. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, São Paulo, v. 38, n. 4, p. 401-413, 2002.

NACHTIGALL, A. M. et al. Geleias light de amora-preta. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 22, n. 2, p. 337-354, 2004.

NACHTIGALL, A. M.; ZAMBIAZI, R. C. Geleias de hibisco com reduzido valor calórico: características sensoriais. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 24, n. 1, p. 47-58, 2006.

NICKERSON, M. T.; PAULSON, A. T.; SPEERS, R. A. Rheological properties of gellan solutions: effect of calcium ions and temperature on pre-gel formation. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 17, p. 577-583, 2003.

NIELSEN, S. **Introduction to the chemical analysis of foods**. Boston: Jones and Bartlett, 1994.

NOBILE, M. A. et al. Use of the generalized Maxwell model for describing the stress relaxation behavior of solid-like foods. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 78, p. 978-983, 2007.

NODA, K.; NAKAYAMA, K.; OKU, T. Serum glucose and insulin levels and erythritol balance after oral administration in healthy subjects. **European Journal of Clinical Nutrition**, London, v. 48, p. 286-292, 1994.

OKU, T.; NODA, K. Influence of chronic intake of newly developed sweetener, erythritol on growth and gastrointestinal function of the rats. **Nutrition Research**, New York, v. 10, p. 987-996, 1990.

ORDÓÑEZ, P. et al. **Tecnologia de alimentos**. Porto Alegre: Artmed, 2005. 2 v.

OS POLIÓIS. **Aditivos & Ingredientes**, São Paulo, v. 58, p. 35-48, 2008. Disponível em: <[www.insumos.com.br/aditivos\\_e\\_ingredientes/materias/81.pdf](http://www.insumos.com.br/aditivos_e_ingredientes/materias/81.pdf)>. Acesso em: 9 nov. 2014.

PARAJÓ, J. C.; DOMINGUEZ, H.; DOMINGUEZ, J. M. Biotechnological production of xylitol. Part 1: Interest of xylitol and fundamentals of its biosynthesis. **Bioresource Technology**, New York, v. 65, p. 191-201, 1998.

PARAMITA, D.; SA, B.; MAITI, S. Carboxymethyl ethers of locust bean gum: a review. **International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences**, Sagar, v. 3, n. 2, p. 4-7, 2011.

PATRA, E.; TOMAR, S. K.; ARORA, S. Technological and functional applications of low-calorie sweeteners from lactic acid bacteria. **Journal of food science**, Chicago, v. 74, n. 1, p. 16-23, 2009.

PATRIARCA, A. et al. Stimulating effect of sorbitol and xylitol on germination and growth of some xerophilic fungi. **Food Microbiology**, London, v. 28, p. 1463-1467, 2011.

PELEG, M. The basics of solid foods rheology. In: MOSKOWITZ, H. R. (Ed.). **Food texture: instrumental and sensory measurement**. New York: M. Dekker, 1987. p. 3-33.

PELEG, M.; NORMAND, M. D. Comparison of two methods for stress relaxation data presentation of solid foods. **Rheological Acta**, Cambridge, v. 22, p. 108-113, 1983.

PEPPER, T.; OLINGER, P. M. Xylitol in sugar: free confections. **Food Technology**, Chicago, v. 42, n. 10, p. 98-106, 1988.

PEREIRA, P. A. P. **Efeito dos aditivos nas propriedades reológicas e sensoriais de goiabadas funcionais sem adição de açúcar**. 2012. 243 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

PEREIRA, P. A. P. et al. Physical and physicochemical evaluation of different brands of traditional, low calorie and sugar-free guava preserves. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 30, n. 03, p. 531–540, 2013a.

PEREIRA, P. A. P. et al. Rheological behavior of functional sugar-free guava preserves : effect of the addition of salts. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 31, p. 404–412, 2013b.

PFIZER INC. **Polidextrose food additive petition**. New York, 1978.

PIETRASIK, Z. Effect of content of protein, fat and modified starch on binding textural characteristics, and color of comminuted scalded sausages. **Meat Science**, Oxford, v. 51, n. 1, p. 17-25, 1999.

PINHEIRO, A. C. et al. Rheological characterization of [kappa]-carrageenan/galactomannan and xanthan/galactomannan gels: comparison of galactomannans from nontraditional sources with conventional galactomannans. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 83, n. 2, p. 392-399, 2011.

POLLARD, M. A. et al. Investigation of equilibrium solubility of a carob galactomannan. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 21, p. 683-692, 2007.

- PONS, M.; FISZMAN, S. M. Instrumental texture profile analysis with particular reference to gelled systems. **Journal of Texture Studies**, Westport, v. 27, p. 597-624, 1996.
- POWELL, D. A. et al. Conformations and interactions of pectins .2. Influence of residue sequence on chain association in calcium pectate gels. **Journal of Molecular Biology**, London, v. 155, n. 4, p. 517-531, 1982.
- RAMOS, A. M. **Caracterización reológica y transmisión de calor em derivados de frutas en el interior de tanques agitados**. 1997. 304 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universitat de Lleida, Lleida, 1997.
- RAMOS, V. H. V. A potencialidade da gravioleira no Cerrado. In: PINTO, A. C. Q. **A cultura da graviola**. Fortaleza: Sindifruta/ Instituto Frutal, 1999. p . 42-58.
- RAO, V. N. M. Classification description and measurement of viscoelastic properties of solid foods. In: ROA, M. A.; STEFFE, J. F. (Ed.). **Viscoelastic properties of solid foods**. London: Elsevier Applied Science, 1992. Cap.1, p. 3-47.
- RIBEIRO, C. et al. Estimation of effective diffusivities and glass transition temperature of polydextrose as a function of moisture content. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 51, p. 273-280, 2003.
- RODRÍGUEZ-SANDOVAL, E.; FERNÁNDEZ-QUINTERO, A.; CUVELIER, G. Stress relaxation of reconstituted cassava dough. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 42, p. 202-206, 2009.
- ROESLER, R. et al. Atividade antioxidante de frutas do cerrado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 1, p. 53-60, 2007.
- RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; JIMÉNEZ, J. P.; CALIXTO, F. S.; FILHO, J. M. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, London, v.121, p. 996-1022, 2010.
- SALGADO, J. M. Adoçantes dietéticos: doçura que não vem da cana. **Diário Popular**, Pelotas, p. 2-3, 4 nov. 2001.
- SANDERSON, G. R. Polysaccharides in foods. **Food Technology**, Chicago, p. 50-83, 1981.

SÃO JOSÉ, A. R. et al. Cultivo da graviola. In: SEMANA INTERNACIONAL DE FRUTICULTURA E AGROINDÚSTRIA, 7., 2000, Fortaleza. **Cursos...** Fortaleza: Sindifruta, Instituto Frutal, 2000. 35 p. 1 CD ROM.

SHIH-YUNG, H.; KAO, C. H. Differential effect of sorbitol and polyethylene glycol on antioxidant enzymes in rice leaves. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 39, p. 83–90, 2003.

SHINDO, T. et al. Determination of erythritol in fermented foods by high performance liquid chromatography. **Journal of the Food Hygienic Society of Japan**, Tokyo, v. 29, p. 419-422, 1988.

SIEFARTH, C. et al. Influence of polyols and bulking agents on flavour release from low-viscosity solutions. **Food Chemistry**, London, v. 129, p. 1462-1468, 2011.

SILVA, A. C. A. **Serviço Brasileiro Resposta Técnica - SBRT**. Porto Alegre: Senai-RS, 2006.

SILVA, B. D. et al. **Frutas do cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. 178 p.

SILVA, J. A. **Tópicos da tecnologia dos alimentos**. São Paulo: Varela, 2000. 227 p.

SILVA, M. R. et al. Caracterização química de frutos nativos do Cerrado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 6, p. 1790-1793, 2008.

SILVA, R. C. S. N. **Caracterização sensorial e reológica de requeijão light adicionado de concentrado protéico de soro**. 2010. 147 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

SILVA, R. C. S. N. et al. Optimized descriptive profile: a rapid methodology for sensory description. **Food Quality Preference**, Barking, v. 24, p. 190-200, 2012.

SOARES, F. P. et al. Marolo: uma frutífera nativa do cerrado. **Boletim Técnico**, Lavras, n. 82, p. 1-17, 2009.

SOUZA, V. R. et al. Analysis of the subtropical blackberry cultivar potential in jelly processing. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 79, n. 9, p. 1776–1781, 2014.

SOUZA, V. R. et al. Determination of bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Cerrado Brazilian fruits. **Food Chemistry**, London, v. 134, p. 381-386, 2012a.

SOUZA, V. R. **Development of new products**: functional and low calorie cerrado mixed fruits jam. 2012. 140 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

SOUZA, V. R. et al. Multivariate approaches for optimization of the acceptance: optimization of a Brazilian Cerrado fruit jam using mixture design and parallel factor analysis. **Journal of Sensory Studies**, Wstport, v. 27, p. 417-424, 2012b.

STEEFE, J. F. **Rheological methods in food process engineering**. 2nd ed. East Lansing: Freeman, 1996. 412 p.

STICKLAND, A. D.; BUSCALL, R. Whither compressional rheology? *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, New York, v. 157, p. 151-157, 2009.

STOREY, D. M. et al. Gastrointestinal tolerance of erythritol and xylitol ingested in a liquid. **European Journal of Clinical Nutrition**, London, v. 61, p. 349–354, 2007.

STOREY, D. M; ZUMBÉ, A. Physiology, metabolism and tolerance of digestible and low digestible carbohydrates. In: **HANDBOOK of starch hydrolysis products and their derivatives**. London: Blackie Academic & Professional, 1995. p. 178-229.

STUMM, I.; BATTLES, W. Analysis of the linkage positions in polydextrose by the reductive cleavage method. **Food Chemistry**, London, v. 59, n. 2, p. 291-297, 1997.

TANG, J.; TUNG, M. A.; ZENG, Y. Characterization of gellan gels using stress relaxation. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 38, p. 279-295, 1998.

TENG, L. Y.; CHIN, N. L.; YUSOF, Y. A. Rheological and textural studies of fresh and freeze-thawed native sago starch sugar gels. II. Comparisons with other starch sources and reheating effects. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 31, n. 2, p. 156–165, 2013.

TENG, L. Y.; CHIN, N. L.; YUSOF, Y. A. Rheological and textural studies of fresh and freeze-thawed native sago starchesugar gels. I. Optimisation using response surface methodology. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 25, p.1530-1537, 2011.

TETZLOFF, W. et al. Tolerance to subchronic, high-dose ingestion of erythritol in human volunteers. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, Duluth, v. 22, p. 286–295, 1996.

TFOUNI, S. A. V.; TOLEDO, M. C. F. Determination of benzoic and sorbic acids in Brazilian food. **Food Control**, Guildford, v. 13, n. 2, p. 117-123, 2002.

THRIMAWITHANA, T. R. et al. Texture and rheological characterization of kappa and iota carrageenan in the presence of counter ions. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 82, p. 69–77, 2010.

THYBO, A. K.; NIELSEN, M.; MARTENS, M. Influence of uniaxial compression rate on rheological parameters and sensory texture prediction of cooked potatoes. **Journal of Texture Studies**, Westport, v. 31, n. 1, p. 25-40, 1999.

TOLEDO, P. F. **Propriedades reológicas de doce de banana**. 2004. 87 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

TONELLI, J. T. C. L.; MURR, F. E. X.; PARK, K. J. Estudo da Reologia de Polissacarídeos Utilizados na Indústria de Alimentos. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 181-204, 2005.

TSOGA, A.; RICHARDSON, R. K.; MORRIS, E. R. Role of cosolutes in gelation of high-methoxy pectin . Part 1. Comparison of sugars and polyols. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 18, n. 5, p. 907-919, Mar. 2004.

VAN DE VELDE, F. Structure and function of hybrid carrageenans. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 22, p. 727–734, 2008.

VENDRAMEL, S. M. R.; CÂNDIDO, L. M. B.; CAMPOS, A. M. Avaliação reológica e sensorial de geleias com baixo teor de sólidos solúveis com diferentes hidrocolóides obtidas a partir de formulações em pó. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 15, n. 1, p. 37-56, 1997.

VIEIRA, R. F. et al. **Frutas nativas da região do Centro-Oeste**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2006. 320 p.

VILELA, D. F. et al. Hortaliças folhosas tropicais. **Boletim Técnico de Hortaliças**, Lavras, n. 75, p. 1-36, 2002.

VISSOTO, F. Z.; GOMES, C. R.; BATISTA, B. J. L. Caracterização do comportamento reológico e da textura de chocolates sem sacarose. **Brazilian Journal of Food Technology**, Chicago, v. 8, n. 2, p. 107-111, 2005.

WARD, I. M.; SWEENEY, J. **The mechanical properties of solid polymers**. New York: J. Wiley e Sons, 2004. 382 p.

YAHIA, E. M. The contribution of fruit and vegetable consumption to human health. In: ROSA, L. A.; ALVAREZ-PARRILLA, E.; GONZALEZ-AGUILARA, G. A. (Ed.). **Fruit and vegetable phytochemicals chemistry nutritional value and stability**. Hoboken: Blackwell, 2010.

YÜNG, L. D. Sucralose: segurança e estabilidade para bebidas. **Engarrafador Moderno**, São Paulo, n. 77, p. 36-40, jul. 2000.

ZAMBLIAZI, R. C.; CHIM, J. F.; BRUSCATTO, M. Avaliação das características e estabilidade de geleias light de morango. **Alimentação e Nutrição**, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 165-170, 2006.

ZUMBÉ, A.; BRINKWORTH, R. Comparative studies of gastrointestinal tolerance and acceptability of milk chocolate containing either sucrose, isomalt or sorbitol in healthy consumers and type II diabetics. **Zeitschrift für Ernährungswissenschaft**, Berlin, v. 31, p. 40-48, 1992.

ZUMBÉ, A.; LEE, A.; STOREY, D. Polyols in confectionery: the route to sugar-free, reduced sugar and reduced calorie confectionery. **British Journal of Nutrition**, London, v. 85, n. 1, p. 31-45, 2001.

**SEGUNDA PARTE – ARTIGOS**

**ARTIGO 1**

**EFEITO DE AGENTES DE CORPO NAS PROPRIEDADES FÍSICO-  
QUÍMICAS E SENSORIAIS DE DOCES *DIET* DE FRUTAS DO  
CERRADO ELABORADOS COM PECTINA DE BAIXO E ALTO GRAU  
DE METOXILAÇÃO**

Este artigo será submetido à Revista Científica Journal of Food Science – ISSN:  
0022-1147 (versão preliminar).

## RESUMO

O desenvolvimento de produtos com restrição de sacarose necessita da inclusão de muitos aditivos, a fim de compensar a sua retirada. Estudou-se o efeito da adição dos agentes de corpo (eritritol, sorbitol, xilitol e polidextrose) e suas misturas na elaboração de doces *diet* de frutas do cerrado (marolo, graviola e maracujá doce) com pectinas de alto (ATM) e baixo (BTM) grau de metoxilação nas propriedades físico-químicas e sensoriais. Foram elaborados dois planejamentos (com pectina ATM e com pectina BTM), considerando o delineamento da regra da mistura em rede simplex, com mistura de quatro componentes (eritritol, sorbitol, xilitol e polidextrose), totalizando treze ensaios com três pontos centrais, para cada planejamento. Os agentes de corpo eritritol e polidextrose não devem ser utilizados como componentes puros, nas concentrações utilizadas neste trabalho, uma vez que provocaram alterações nas propriedades físico-químicas e influenciaram negativamente as notas dos atributos sensoriais. Altas concentrações de xilitol proporcionaram menores valores de atividade de água e também melhor aceitação sensorial. O sorbitol, embora tenha se destacado também na sensorial, assim como o xilitol, provocou maiores valores de sinerese. No geral, principalmente os valores de umidade e sinerese tendem a ser mais elevados para os doces elaborados com pectina ATM. Para as demais variáveis respostas estudadas e também para os atributos sensoriais, pode-se dizer que os valores foram próximos para ambas as pectinas. Com relação à aceitabilidade, o tipo de pectina não interferiu nos resultados e, sim, os agentes de corpo.

Palavras-chave: Processamento. Produtos *diet*. Agentes gelificantes. Atributos sensoriais.

## 1 INTRODUÇÃO

O Cerrado representa 25% do território do Brasil e se estende por treze estados (CARDOSO et al., 2011). As frutas deste bioma desempenham papéis importantes na economia e no consumo, pois apresentam características sensoriais singulares e altas concentrações de nutrientes (CARDOSO et al., 2011; SOUZA et al., 2012). Dentre as inúmeras frutíferas do Cerrado, podem-se citar a graviola (*Annona muricata*), o marolo (*Annona crassiflora Mart*) e o maracujá-doce (*Passiflora alata Dryand*).

A graviola é valorizada pela polpa suculenta, o atraente aroma e o seu sabor característico; quando madura, sua polpa é cremosa, muito doce e apresenta agradável sabor (MCGORRIN, 2007; ORSI et al., 2012). O marolo, popularmente conhecido como cabeça-de-negro e araticum, apresenta casca com uma coloração marrom, após seu amadurecimento; a polpa é doce, sua cor varia do branco ao amarelo e tem aroma forte e exótico (DAMIANI et al., 2012). Já o maracujá-doce é consumido, geralmente, como fruta fresca, devido à polpa adocicada, forte e agradável aroma, sendo até mesmo enjoativa quando processada na forma de suco (SOUZA, 2012).

As frutas nativas do cerrado são muito utilizadas pela população local, principalmente na forma *in natura* (VIEIRA et al., 2006), porém, poucas pessoas de outras regiões têm acesso a elas. Em vista disso, uma forma de comercializá-las e aumentar sua disponibilidade é a elaboração de novos produtos, como doces e geleias (SOUZA et al., 2012b). A mistura de duas ou mais frutas na elaboração de geleias pode conquistar um grande espaço no mercado, já que as geleias mistas unem as suas características sensoriais e nutricionais em sua elaboração (ZOTARELLI; ZANATA; CLEMENTE, 2008).

Geleias e doces convencionais (com sacarose) são amplamente consumidos por um grande número da população. Porém, devido à consciência

alimentar, os consumidores têm manifestado crescente preferência por alimentos com redução total ou parcial da sacarose, utilizando edulcorantes alternativos (IGUAL; CONTRERAS; MARTÍNEZ-NAVARRETE, 2014), dado que o consumo de grandes quantidades deste carboidrato é considerado um dos maiores responsáveis pela diabetes e a obesidade. Além dos problemas relacionados à saúde, o consumidor também tem se preocupado com a estética corporal, fazendo com que os substitutos da sacarose ganhem destaque no mercado, aumentando, dessa forma, a demanda por produtos *diet/light* (DRUZIAN; DOKI; SCAMPARINI, 2005). Neste contexto, é essencial para a agroindústria desenvolver produtos que atendam ao anseio do consumidor, pois, caso contrário, pode perder parte do seu mercado.

Em geleias e doces tradicionais a sacarose atua como um agente de desidratação das moléculas de pectina, pois as aproxima na cadeia (BASU; SHIVHARE, 2010; SUUTARINEN, 2002). Segundo Moser, Cornélio e Telis (2013), obter produtos com redução total da sacarose, semelhantes aos tradicionais, ainda é um desafio, pois a ausência de açúcares altera a retenção de umidade, o aroma, a cor e a textura. Na elaboração desses produtos devem ser utilizados ingredientes que dão corpo ao produto, repondo o volume e a textura, e que proporcionem sabor doce.

A pectina é um abundante componente das paredes celulares de todas as plantas terrestres (WILLATS; KNOX; MIKKELSEN, 2006). É utilizada, principalmente, na indústria de alimentos como um agente de gelificação de doces, geleias, produtos de confeitaria, iogurtes, recheios e outros alimentos (EL-NAWAWI; HEINKEL, 1997; WILLATS; KNOX; MIKKELSEN, 2006). É um polissacarídeo com cerca de 150 a 500 unidades de ácidos galacturônicos parcialmente esterificados com grupos metoxílicos, unidos por ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,4 em uma longa cadeia (FRAEYE et al., 2009).

O mecanismo de gelificação de diferentes tipos de pectina depende do grau de metoxilação (BERG et al., 2012; BRANDÃO; ANDRADE, 1999; CARDOSO; COIMBRA; SILVA, 2003; NGOUÉMAZONG et al., 2012), o qual se relaciona com a quantidade de ácidos galacturônicos esterificados com grupamentos metílicos, sendo as pectinas classificadas como de baixa e de alta metoxilação (FRAEYE et al., 2010; FU; RAO, 2001; NGOUÉMAZONG et al., 2012 ). Pectina de alto grau de metoxilação (ATM) forma géis na presença de açúcar (acima de 55% de solutos) e em ambiente ácido, enquanto a pectina de baixo grau de metoxilação atua numa ampla faixa de valores de pH, com ou sem açúcar, na presença de cátions como o íon cálcio (GROSSO; BOBBIO; AIROLDI, 2000; FRAEYE et al., 2010; HOLM; WENDIN; HERMANSSON, 2009; WILLATS; KNOX; MIKKELSEN, 2006). Géis de pectina ATM são mais homogêneos que os géis de pectina BTM, porém, para ambos são formados géis com redes abertas (HOLM; WENDIN; HERMANSSON, 2009).

Os polióis são agentes de corpo que proporcionam aos alimentos uma textura semelhante à da sacarose e contribuem para o valor nutricional e os atributos sensoriais (LEGAZ; VICENTE, 2005), além de atuarem na redução da atividade de água dos produtos. Nos últimos anos, os polióis têm ganhado mercado como substitutos de açúcar, por causa da sua doçura e do seu baixo valor calórico. Semelhante ao açúcar, quando adicionados aos alimentos, eles podem melhorar a textura, enquanto os edulcorantes de alta intensidade transmitem apenas a doçura aos alimentos (SIEFARTH et al., 2011). Os polióis apresentam menor doçura em relação à sacarose, menor solubilidade e maior efeito de cristalização (GOSH; SUDHA, 2012; ZUMBÉ; LEE; STOREY, 2001). Doses altas podem provocar diarreia, devido à lenta absorção dos polióis (GOSH; SUDHA, 2012).

A legislação brasileira não estabelece um limite máximo para o uso de polióis, permitindo a quantidade suficiente para obter o efeito desejado, porém,

ressalta que todos os alimentos e as bebidas contendo polióis deverão obedecer aos requisitos de rotulagem referentes a efeitos laxativos (BRASIL, 2008).

A polidextrose é um polissacarídeo de baixo peso molecular altamente ramificado, com um grau médio de polimerização de dez a doze moléculas de glicose (ALMRHAG et al., 2012 ; CRAIG et al., 1998; STUMM; BATLES, 1997). Atua como agente de corpo e seu uso é recomendado em formulação de alimentos que sofreram remoção da sacarose, deixando-os com características adequadas de textura (GOMES et al., 2007). É um pó amorfo, enquanto o açúcar é um pó cristalino (KOCER et al., 2007), não contribui para a cristalização e não fornece doçura aos alimentos, já que não apresenta poder dulçor (MARTINEZ-CERVERA et al., 2012), necessitando do uso combinado com adoçantes. Apresenta baixo valor calórico, podendo ser consumida por diabéticos (GOMES et al., 2007). Além disso, a polidextrose é fermentada no intestino grosso, não sendo absorvida no intestino delgado e, conseqüentemente, excretada nas fezes. Logo, é considerada um alimento funcional. Segundo Almerhag et al. (2012), a polidextrose é capaz de formar géis firmes na presença de pectina de alto grau de metoxilação, fato que estes autores associaram ao elevado peso molecular da polidextrose.

Pesquisadores têm realizado trabalhos com diferentes açúcares e polióis na presença de pectina de baixo teor de metoxilação, como também na presença de pectina de alto teor de metoxilação em sistemas modelos. Grosso, Bobbio e Airoldi (2000) estudaram o efeito de glicose, frutose, sacarose e sorbitol na formação de géis com pectina de baixo grau de metoxilação e verificaram que o sorbitol e a frutose podem competir com a pectina por cátions. Essa competição é desfavorável para a formação do gel, já que diminui a quantidade de  $\text{Ca}^{2+}$  disponível para associar com moléculas de pectina, diminuindo, assim, a rigidez do gel.

Tsoga et al. (2004) verificaram a eficácia de alguns solutos (sacarose, glicose, frutose, sorbitol, xilitol, glicerol e etan-1,2-diol), nas concentrações de 50%, 55%, 60% e 65%, em induzir a gelificação na presença de pectina de alto teor de metoxilação (ATM) sob condições ácidas. Estes autores verificaram que essas substâncias promoveram a gelificação da pectina com alto grau de metoxilação por remoção da água, deixando menos água disponível para manter as cadeias de polímeros em solução. Löfgren e Hermansson (2007), por sua vez, investigaram o comportamento reológico de géis mistos elaborados com pectina ATM e BTM, com reduzido teor de sacarose, e observaram que os géis mistos (ATM/BTM) apresentaram comportamento reológico semelhante ao dos géis elaborados somente com pectina ATM com 60% de sacarose, indicando um forte efeito sinérgico das pectinas. Embora existam várias pesquisas envolvendo esses tipos de pectina, ainda são necessários mais estudos para verificar seus comportamentos em diferentes sistemas alimentares.

Portanto, este estudo foi realizado com os objetivos de avaliar o efeito de agentes de corpo (eritritol, sorbitol, xilitol e polidextrose) e suas misturas sobre as propriedades físicas, físico-químicas e sensoriais de doces *diet* de frutas do cerrado, elaborados com pectina de alto (ATM) e baixo grau de metoxilação (BTM).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

Foram utilizadas as polpas de graviola (*Annona muricata*), marolo (*Annona crassiflora Mart*) e maracujá-doce (*Passiflora alata Dryand*). Todas as frutas foram adquiridas em um mercado local da cidade de Lavras, MG, as quais eram provenientes do CEASA de Belo Horizonte, MG.

Os ingredientes utilizados foram os seguintes: eritritol (Nutramax, Catanduva, SP), sorbitol (Nutramax, Catanduva, SP), xilitol (Nutramax, Catanduva, SP), polidextrose (Nutramax, Catanduva, SP), goma LBG 246 (Danisco, Jundiaí, SP; lote: 4702232505), goma carragena CL350H (Danisco, Jundiaí, SP; lote:1022206332), pectina de alto teor de metoxilação CF136B (Danisco, Jundiaí, SP; lote: 1202020837), pectina de baixo teor de metoxilação LA210 (Danisco, Jundiaí, SP; lote: 1822171504), sucralose (Nutramax, Catanduva, SP; lote: KH-S40-130324), acessulfame-k (Nutramax, Catanduva, SP; lote: 20121208), ácido cítrico (Gemacom Tech, Juíz de Fora, MG) e sorbato de potássio (Vetec, Duque de Caxias, RJ).

### 2.2 Preparação das polpas das frutas

As polpas de graviola, marolo e maracujá-doce foram processadas na Planta Piloto de Processamento de Produtos Vegetais, no Departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

Depois de devidamente lavadas com detergente neutro e higienizadas com hipoclorito de sódio a 200 mg.L<sup>-1</sup>, por 15 minutos, as frutas foram separadas em sementes, cascas e polpas. As polpas de marolo e graviola foram extraídas manualmente com o auxílio de uma faca e, posteriormente,

homogeneizadas, separadamente, em liquidificador (Metvisa-LQ.10, Brusque, SC). As polpas de maracujá-doce foram homogeneizadas em liquidificador (Metvisa-LQ.10, Brusque, SC), com posterior separação das sementes por peneiramento. As polpas, após homogeneização, foram armazenadas em potes de polipropileno devidamente lacrados e congeladas a -18 °C.

### 2.3 Processamento dos doces

Para a elaboração dos doces de frutas do cerrado foi seguida a metodologia proposta por Souza et al. (2012b, 2013). O processamento foi realizado no Laboratório de Processamento de Produtos Vegetais, no Departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

Na elaboração dos doces foram utilizados os edulcorantes sucralose e acessulfame-K, na proporção 3:1, que, juntos, apresentam potência adoçante de 847,45 em relação à sacarose (SOUZA et al., 2013). A porcentagem de edulcorantes utilizada foi baseada na proporção de polióis adicionados em cada formulação, e seus respectivos poderes adoçantes, conforme Tabela 1.

Tabela 1 Poder dulçor dos polióis e da polidextrose em relação à sacarose

Substâncias	Poder dulçor (%)
Sacarose	100
Eritritol	75*
Sorbitol	50-60**
Xilitol	90-100**
Polidextrose	0***

\*Hu et al. (2012)

\*\*Gosh e Shuda (2012)

\*\*\*Gomes et al. (2007) e Nopianti et al. (2013)

Na Tabela 2 estão representadas as proporções dos ingredientes fixos utilizados na elaboração dos doces *diet*, definidos de acordo com os resultados de pesquisas anteriores (SOUZA et al., 2012b; SOUZA et al., 2013).

Tabela 2 Proporção dos ingredientes fixos usados na elaboração dos doces com frutas do cerrado

Ingredientes fixos	Concentração (Planejamento com pectina ATM)	Concentração (Planejamento com pectina BTM)
Polpa das frutas marolo/graviola/maracujá-doce	56,97%	56,97%
Pectina de alto grau de metoxilação	1,5%	-----
Pectina de baixo grau de metoxilação	-----	1,5%
Goma carragena	0,64%	0,64%
Goma locusta	0,64%	0,64%
Ácido cítrico	0,20%	0,20%
Sorbato de potássio	0,05%	0,05%

Na formulação dos doces utilizaram-se 40% da mistura dos agentes de corpo (Tabela 1) e 60% dos ingredientes fixos (Tabela 2). Os doces foram processados em tacho aberto (Macanudo, SC, Brasil), sendo adicionada, primeiramente, a mistura das polpas (em proporções iguais de frutas) e, depois, os agentes de corpo (polidextrose e polióis). Quando essa mistura atingiu 45° Brix, adicionaram-se a mistura de gomas (LBG e carragena) e a pectina (ATM ou BTM), previamente dissolvidas em água, a 80 °C, sob agitação. Os edulcorantes (acesulfame-k e sucralose), o acidulante (ácido cítrico) e o conservante (sorbato de potássio) foram incorporados ao doce no final do processo de cocção (65°Brix). Após o término do processo, os doces foram envasados a quente, em potes de polipropileno fechados com tampas do mesmo

material e armazenados em refrigeradores, a  $\pm 7$  °C. Na Figura 1 tem-se o fluxograma do processamento dos doces.

Os sólidos solúveis totais foram determinados utilizando-se um modelo de refractômetro portátil RT-82 °Brix e foi medido a  $\pm 25$  °C.

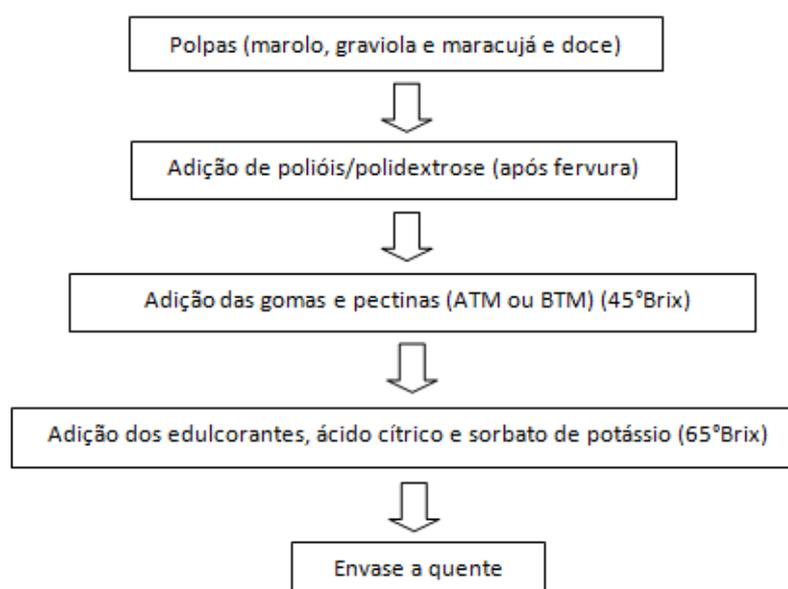


Figura 11 Fluxograma de elaboração do doce de fruta de baixo valor calórico

#### 2.4 Delineamento experimental

Neste trabalho foi estudada a substituição da sacarose por agentes de corpo na elaboração de doces e avaliados os efeitos de quatro fatores (eritritol, sorbitol, xilitol e polidextrose), considerando o planejamento em rede simplex empregando-se o delineamento da Regra da Mistura (CORNEL, 1983).

Foram elaborados dois planejamentos, em rede simplex, com mistura de quatro componentes, totalizando treze ensaios com três pontos centrais para cada (Tabela 3). Foi realizado um planejamento para doces de frutas do cerrado com

pectina de baixo teor de metoxilação (BTM) e outro para doces de frutas do cerrado com pectina de alto teor de metoxilação (ATM). Na Tabela 3 são especificados os valores codificados e reais dos fatores do planejamento em rede simplex.

O polinômio considerado no ajuste do modelo foi

$$y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{14} x_1 x_4 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{34} x_3 x_4 \quad (1)$$

em que  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$ ,  $\beta_4$ ,  $\beta_{12}$ ,  $\beta_{13}$ ,  $\beta_{23}$ ,  $\beta_{34}$  são coeficientes de regressão para os termos lineares e não lineares (interação);  $y$  é a resposta em questão;  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  e  $x_4$  são as variáveis independentes codificadas (frações mássicas de eritritol, sorbitol, xilitol e polidextrose na mistura dos agentes de corpo, respectivamente).

Tabela 3 Planejamento experimental das misturas, mostrando os níveis codificados e não codificados das variáveis empregadas no planejamento em rede simplex

Trat.	Variáveis codificadas				Variáveis reais			
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$X_1(\%)$	$X_2(\%)$	$X_3(\%)$	$X_4(\%)$
1	1	0	0	0	100	0	0	0
2	0	1	0	0	0	100	0	0
3	0	0	1	0	0	0	100	0
4	0	0	0	1	0	0	0	100
5	0,5	0,5	0	0	50	50	0	0
6	0,5	0	0,5	0	50	0	50	0
7	0,5	0	0	0,5	50	0	0	50
8	0	0,5	0,5	0	0	50	50	0
9	0	0,5	0	0,5	0	50	0	50
10	0	0	0,5	0,5	0	0	50	50
11	0,25	0,25	0,25	0,25	25	25	25	25
12	0,25	0,25	0,25	0,25	25	25	25	25
13	0,25	0,25	0,25	0,25	25	25	25	25

$X_1$ - porcentagem de eritritol na mistura de agentes de corpo,  $X_2$ - sorbitol,  $X_3$ - xilitol,  $X_4$ - polidextrose

## 2.5 Análises físico-químicas

O pH foi determinado em potenciômetro digital, segundo Instituto Adolfo Lutz, IAL (2008). A acidez titulável foi realizada segundo técnica descrita pela Association of Official analytical Chemistry, AOAC (1992) e expressa em equivalente de ácido cítrico por 100 g da amostra. A atividade de água foi determinada utilizando-se equipamento Aqualab (Decagon modelo 3 TE), em que aproximadamente 5 g das amostras foram dispostos em recipientes plásticos e as leituras foram realizadas em temperatura controlada de  $25,0 \pm 0,3$  °C. A umidade foi determinada pelo método gravimétrico, baseando-se na perda de peso do material submetido ao aquecimento de 65 °C, até peso constante, segundo IAL (2008) e a sinerese foi determinada de acordo com a metodologia descrita por Duran et al. (1987), na qual as amostras foram colocadas no centro de papel filtro Whatman (nº1), previamente seco em estufa, a 105 °C. Após 2 minutos, foi medido com um paquímetro o avanço do anel de umidade, sendo os resultados expressos em centímetros, indicando o quanto o anel avançou (diâmetro) em relação à posição da amostra.

A cor dos doces foi determinada de acordo com a metodologia proposta por Gennadios et al. (1996). Os valores de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  foram determinados com aparelho colorímetro Minolta modelo CR 400, trabalhando com D65 (luz do dia) e utilizando-se os padrões CIELab: em que L varia de 0 (preto) a 100 (branco),  $a^*$  varia do verde (-) ao vermelho (+), e  $b^*$  varia do azul (-) ao amarelo (+).

As medições foram feitas em triplicata, no dia seguinte ao processamento dos doces, com exceção da sinerese, que foi realizada após 30 dias de fabricação.

## 2.6 Análise sensorial

A análise sensorial foi realizada no Laboratório de Análise Sensorial, no Departamento de Ciências dos Alimentos, na Universidade Federal de Lavras. Foi realizado o teste de aceitação avaliando-se os atributos cor, sabor, doçura e impressão global por meio de uma escala hedônica de 9 pontos (1 = desgostei extremamente a 9 = gostei extremamente) (STONE; SIDEL, 1993).

O teste para os doces com pectina BTM e com pectina ATM foi realizado com 40 participantes (25 mulheres e 15 homens), entre alunos e funcionários da Universidade Federal de Lavras. Os dois planejamentos foram elaborados em períodos diferentes, em um intervalo de 60 dias. Os provadores foram selecionados com base em seu consumo regular de doces de frutas, geleias e conservas.

Durante a avaliação sensorial, cada provador avaliou 13 amostras de doces ao longo de três sessões distribuídas por dois dias consecutivos, sendo importante ressaltar que os mesmos provadores participaram das três sessões.

Amostras de, aproximadamente, 5 g de doces (Acosta et al., 2008) foram distribuídas em copos de plástico de 50 mL (Copopras, MG, Brasil), mantidas à temperatura de refrigeração ( $\pm 7$  °C), em uma ordem balanceada (WAKELING; MACFIE, 1995). Estas amostras foram codificadas com um número de três dígitos extraídos de uma tabela de números aleatórios. O teste foi realizado em cabines individuais, sob uma luz branca com ventilação adequada. Para os provadores foram oferecidas as amostras de doces e água suficiente para a análise. A temperatura do laboratório foi fixada em 23 °C. Os provadores foram instruídos a provar e avaliar cada amostra, enxaguando a boca com água entre as amostras. Além disso, eles foram instruídos sobre o uso da escala hedônica.

## 2.7 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância para avaliar o ajuste do modelo selecionado. O critério utilizado para aceitar o modelo proposto foi dado pelo alto valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), este assumido como um valor superior a 70%, permitindo inferir que o modelo explica uma elevada porcentagem da variabilidade total. Para isso foi utilizado o software Statistica versão 7.0 (2004).

Além disso, para correlacionar os atributos sensoriais, os consumidores e as amostras, foi feito uma mapa de preferência interno de três vias (PARAFAC), utilizando o software SensoMaker versão 1.7 (PINHEIRO et al., 2013)

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Análises físicas e físico-químicas

Nas Tabelas 4 e 5 são apresentados os resultados das análises físico-químicas dos doces *diet* de frutas do cerrado.

Na análise estatística do planejamento rede simplex da Regra da Mistura foram estimados os efeitos dos fatores (eritritol, sorbitol, xilitol e polidextrose) lineares ( $\beta_i$ ) e de interação ( $\beta_{ij}$ ). As adequações dos modelos completos para as variáveis respostas podem ser verificadas pelos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), que explicam entre 88% a 99% (BTM) e entre 77% a 99% (ATM) (Tabela 6).

Tabela 1 Respostas das análises físicas e físico-químicas dos doces *diet* de frutas do cerrado elaborados com pectina de baixo teor de metoxilação (BTM)

Tratamento	Umidade	aw	AT	pH	Sinerese
<b>Pectina de baixo teor de metoxilação</b>					
1	35,94 ± 0,62	0,903 ± 0,001	0,85 ± 0,07	3,99 ± 0,04	0,00 ± 0,00
2	34,10 ± 1,36	0,864 ± 0,00	0,77 ± 0,00	4,01 ± 0,01	2,75 ± 0,96
3	32,38 ± 0,57	0,807 ± 0,01	0,73 ± 0,07	3,99 ± 0,01	1,35 ± 0,07
4	42,15 ± 1,16	0,960 ± 0,00	0,64 ± 0,00	4,28 ± 0,01	3,41 ± 2,45
5	26,79 ± 1,15	0,833 ± 0,00	0,77 ± 0,00	4,00 ± 0,01	2,20 ± 1,35
6	31,94 ± 0,98	0,827 ± 0,00	0,77 ± 0,00	3,99 ± 0,01	0,00 ± 0,00
7	33,93 ± 3,15	0,895 ± 0,00	0,64 ± 0,00	4,19 ± 0,01	1,89 ± 1,09
8	34,55 ± 1,71	0,842 ± 0,00	0,77 ± 0,00	4,01 ± 0,01	2,95 ± 0,69
9	44,83 ± 1,00	0,940 ± 0,00	0,68 ± 0,07	4,11 ± 0,01	1,11 ± 0,75
10	38,89 ± 1,58	0,896 ± 0,00	0,73 ± 0,07	4,18 ± 0,04	2,61 ± 1,24
11	39,85 ± 0,47	0,889 ± 0,00	0,68 ± 0,07	4,12 ± 0,01	2,86 ± 1,31
12	33,82 ± 1,07	0,842 ± 0,00	0,77 ± 0,00	4,08 ± 0,01	2,79 ± 0,86
13	35,17 ± 2,29	0,883 ± 0,00	0,73 ± 0,07	4,10 ± 0,07	2,83 ± 0,89

Média ± desvio padrão de 3 replicatas

Umidade, %; atividade de água (aw); acidez titulável (AT), g de ácido cítrico/100g; Sinerese, cm.

Tabela 2 Respostas das análises físicas e físico-químicas dos doces *diet* de frutas do cerrado elaborados com pectina de alto teor de metoxilação (ATM)

Tratamento	Umidade	aw	AT	pH	Sinerese
<b>Pectina de alto teor de metoxilação</b>					
1	40,45 ± 1,83	0,900 ± 0,001	0,77 ± 0,00	4,10 ± 0,00	2,08 ± 0,59
2	46,12 ± 1,65	0,881 ± 0,001	0,64 ± 0,00	4,11 ± 0,04	2,97 ± 1,30
3	41,44 ± 5,56	0,841 ± 0,002	0,77 ± 0,00	4,19 ± 0,06	2,47 ± 1,23
4	40,98 ± 0,81	0,947 ± 0,001	0,77 ± 0,00	4,34 ± 0,08	2,23 ± 0,75
5	30,70 ± 1,13	0,838 ± 0,001	0,77 ± 0,00	4,12 ± 0,02	3,39 ± 0,88
6	32,88 ± 4,40	0,823 ± 0,002	0,81 ± 0,07	4,12 ± 0,11	3,30 ± 0,73
7	40,66 ± 5,71	0,897 ± 0,001	0,73 ± 0,07	4,24 ± 0,09	2,08 ± 0,85
8	42,20 ± 3,29	0,863 ± 0,003	0,73 ± 0,07	4,22 ± 0,11	2,16 ± 2,00
9	46,67 ± 3,70	0,927 ± 0,001	0,68 ± 0,07	4,28 ± 0,09	2,46 ± 0,70
10	43,30 ± 3,99	0,920 ± 0,002	0,68 ± 0,07	4,25 ± 0,11	3,44 ± 1,05
11	42,42 ± 3,96	0,894 ± 0,002	0,68 ± 0,07	4,22 ± 0,08	2,37 ± 0,33
12	46,34 ± 7,21	0,893 ± 0,002	0,77 ± 0,00	4,13 ± 0,09	2,53 ± 0,64
13	39,83 ± 3,95	0,874 ± 0,002	0,73 ± 0,07	4,16 ± 0,10	2,46 ± 1,74

Média ± desvio padrão de 3 replicatas

Umidade, %; atividade de água (aw); acidez titulável (AT), g de ácido cítrico/100 g; Sinerese, cm

Tabela 3 Modelos preditos para as análises físicas e físico-químicas das formulações de doces *diet* de frutas do cerrado elaborados com pectina de baixo teor de metoxilação e com pectina de alto teor de metoxilação

Variável	Tipo de pectina	Modelo predito	R <sup>2</sup>
Umidade (%)	BTM	$Y = 35,68x_1^* + 33,83x_2^* + 32,12x_3^* + 41,89x_4^* - 29,74x_1x_2 - 5,72x_1x_3 - 17,3050x_1x_4 + 8,38x_2x_3 + 29,98x_2x_4 + 9,63x_3x_4$	0,9125
	ATM	$Y = 39,66x_1^* + 45,33x_2^* + 40,64x_3^* + 40,19x_4^* - 40,84x_1x_2 - 22,74x_1x_3 + 9,28x_1x_4 + 3,17x_2x_3 + 21,96x_2x_4 + 17,87x_3x_4$	0,8055
aw	BTM	$Y = 0,902x_1^* + 0,863x_2^* + 0,806x_3^* + 0,960x_4^* - 0,190x_1x_2 - 0,103x_1x_3 - 0,134x_1x_4 + 0,034x_2x_3 + 0,124x_2x_4 + 0,06x_3x_4$	0,9454
	ATM	$Y = 0,898x_1^* + 0,878x_2^* + 0,838x_3^* + 0,945x_4^* - 0,180x_1x_2^{**} - 0,158x_1x_3^{**} - 0,076x_1x_4 + 0,034x_2x_3 + 0,083x_2x_4 + 0,134x_3x_4$	0,9631
AT (g ácido cítrico/100 g)	BTM	$Y = 0,85x_1^* + 0,77x_2^* + 0,72x_3^* + 0,64x_4^* - 0,15x_1x_2 - 0,06x_1x_3 - 0,41x_1x_4^{**} + 0,11x_2x_3 - 0,06x_2x_4 + 0,19x_3x_4$	0,9122
	ATM	$Y = 0,77x_1^* + 0,64x_2^* + 0,72x_3^* + 0,77x_4^* + 0,24x_1x_2 - 0,16x_1x_3 - 0,18x_1x_4 + 0,07x_2x_3 - 0,09x_2x_4 - 0,35x_3x_4$	0,9122
pH	BTM	$Y = 3,99x_1^* + 4,01x_2^* + 3,99x_3^* + 4,27x_4^* + 0,03x_1x_2 + 0,02x_1x_3 + 0,24x_1x_4^{**} + 0,04x_2x_3 - 0,10x_2x_4 + 0,19x_3x_4^{**}$	0,9920
	ATM	$Y = 4,11x_1^* + 4,12x_2^* + 4,19x_3^* + 4,34x_4^* - 0,04x_1x_2 - 0,18x_1x_3 + 0,01x_1x_4 + 0,21x_2x_3 + 0,14x_2x_4 - 0,13x_3x_4$	0,9009
Sinerese	BTM	$Y = -0,17x_1 + 2,58x_2^* + 1,17x_3 + 3,24x_4^* + 5,39x_1x_2 - 0,61x_1x_3 + 2,81x_1x_4 + 5,69x_2x_3 - 5,79x_2x_4 + 3,01x_3x_4$	0,9007
	ATM	$Y = 2,16x_1^* + 3,05x_2^* + 2,55x_3^* + 2,31x_4^* + 2,42x_1x_2 + 3,07x_1x_3 - 1,33x_1x_4 - 3,28x_2x_3 - 1,60x_2x_4 + 3,35x_3x_4$	0,87

$x_1$ : fração mássica de eritritol,  $x_2$ : fração mássica de sorbitol,  $x_3$ : fração mássica de xilitol,  $x_4$ : fração mássica de polidextrose, utilizados na regra da mistura.

\* significativo, a 0,05

\*\* significativo, a 0,10

### 3.1.1 Umidade

O teor de umidade representa a quantidade total de água presente nos alimentos (FENNEMA, DAMODARAN; PARKIN, 2010; OLIVEIRA, 2005). A umidade dos doces adicionados de pectina BTM variou de 26,79% (T5) a 44,83% (T9) (Tabela 4), enquanto, para os doces adicionados de pectina ATM, variou de 30,70% (T5) a 46,67% (T9) (Tabela 5). É importante ressaltar que a legislação brasileira vigente para produtos de frutas, estabelecida pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Brasil, 2005), não define o valor limite para a umidade de doces e geleias de frutas.

Em relação aos modelos preditos, observou-se que os coeficientes lineares ( $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$  e  $\beta_4$ ) da pectina ATM e também da pectina BTM apresentaram efeitos significativos, a 95% de confiança (Tabela 6). Para a pectina BTM, o xilitol obteve o menor efeito, seguido por sorbitol, eritritol e polidextrose. Para os doces elaborados com pectina ATM, obteve-se a seguinte ordem decrescente de umidade: sorbitol, xilitol, polidextrose e eritritol. Analisando-se os dados das Tabelas 4 e 5 observa-se uma tendência de os valores de umidade dos doces com pectina ATM serem superiores aos dos doces com pectina BTM.

Segundo Grosso (1992), a umidade de géis elaborados com pectina ATM é maior em relação aos géis elaborados com pectina BTM. Este autor associou esse fato a uma maior associação de pectina-soluto na matriz do gel ATM, implicando numa maior quantidade de água ligada e total, enquanto, para o gel BTM, a não associação ou a associação de menor intensidade entre o soluto e a pectina pode diminuir a capacidade de ligação da água ao conjunto. Esse autor também observou diferenças na umidade de géis elaborados com sorbitol na presença de pectina ATM e BTM, em que os géis com pectina ATM apresentaram maiores valores. Yuyama et al. (2008) desenvolveram geleias dietéticas de cubiu empregando xilitol em substituição à sacarose e adicionadas

de pectina ATM, observando que os valores de umidade das geleias elaboradas com sacarose (29,52%) estão próximos aos da preparada com xilitol (30,96%). Tais valores se encontram dentro da faixa dos encontrados neste trabalho, por ambas as pectinas.

### 3.1.2 Atividade de água

A atividade de água ( $a_w$ ) está relacionada à água que se encontra no estado livre, sendo considerada uma propriedade fundamental no controle de qualidade de alimentos (NETO; FIGUEIREDO; QUEIROZ, 2005). A determinação da atividade de água desempenha papel importante no monitoramento da estabilidade, da qualidade e da segurança dos alimentos e também na previsão da vida útil dos produtos (GABRIEL, 2008; LABUZA et al., 1970). Uma das formas de aumentar a vida útil de doces, compotas e geleias é a redução da atividade de água, o que ocorre, principalmente, com o aumento da adição de soluto ao produto (MENEZES et al., 2009; TORREZAN et al., 1999). A atividade de água de doces de frutas convencionais está entre 0,7 a 0,8 (FRANCO; LANDFGRAF, 1998). Assim, para garantir uma boa estabilidade física e microbiológica é desejável que a  $a_w$  de doces encontre-se entre esses limites (MENEZES et al., 2009).

Pelos dados da Tabela 4 verifica-se que a  $a_w$  nos doces adicionados de pectina BTM variou de 0,807 (T3) a 0,960 (T4) e, nos doces adicionados de pectina ATM, variou de 0,823 (T6) a 0,947 (T4) (Tabela 5).

Os modelos preditos para a atividade de água dos doces elaborados com pectina ATM e BTM estão na Tabela 6. Nos modelos, observou-se que, em ambos os planejamentos, os coeficientes lineares foram significativos, a 5% de significância e, para a pectina ATM, as interações eritritol-sorbitol e eritritol-xilitol, a 10% de significância. Nas concentrações utilizadas para o componente

puro, o xilitol foi responsável por menores efeitos de  $a_w$  (0,806 pectina BTM; 0,838 pectina ATM) e a polidextrose por maiores efeitos (0,960 pectina BTM; 0,945 pectina ATM).

Portanto, os polióis, principalmente o xilitol, foram eficazes para reduzir a atividade de água, significando que são importantes agentes depressores de atividade de água. Dentre os polióis utilizados, o eritritol foi o menos eficiente para reduzir a atividade de água, pelo fato de ser menos solúvel em água e, conseqüentemente, apresentar alto poder de cristalização (ZUMBÉ et al., 2001). A solubilidade do eritritol é baixa, em torno de 37%; já os demais agentes de corpo apresentam alta solubilidade, sendo xilitol 63%, sorbitol 73% (ZUMBÉ et al., 2001) e polidextrose 80% (HE et al., 2013), à temperatura de 20 °C. Nos doces elaborados com adição de 40% de eritritol verificou-se, visualmente, a cristalização desse soluto. Embora a adição apenas do eritritol não tenha sido eficaz na redução tanto da atividade de água quanto do xilitol e do sorbitol, verificou-se uma interação antagônica do eritritol com o xilitol e com o sorbitol, apenas para pectina ATM. A contribuição do eritritol para abaixar a atividade de água em baixas concentrações está relacionada com seu maior efeito osmótico, explicado pela menor massa molar dos polióis testados (ZUMBÉ et al., 2001), porém, devido à sua baixa solubilidade, seu emprego deve ser limitado a baixas concentrações, para evitar problemas de cristalização no doce.

Almeida et al. (2009), estudando goiabadas desenvolvidas com sacarose e diferentes edulcorantes (esteviosídeo, sucralose e acessulfame- k), com 1,5% pectina de BTM, encontraram valores entre 0,679 (com sacarose) a 0,919 (sem sacarose) para  $a_w$ , sendo os valores da  $a_w$  para goiabadas sem sacarose superiores aos encontrados nas formulações com polióis e inferiores aos encontrados nas formulações com polidextrose pura ou em mistura. Prati et al. (2009) encontraram altos valores de  $a_w$  (0,960) em geleias mistas (yacon, goiaba e acerola) sem adição de açúcares com 20% de lactitol, 10% de polidextrose e 1%

de pectina BTM. Menezes et al. (2012), ao estudarem doces de goiaba de baixo valor calórico com 15% de sacarose e 0,6% de pectina BTM, encontraram valores de  $a_w$  entre 0,872 a 0,884, sendo superiores aos encontrados em algumas formulações (2, 3, 5, 6, 8 e 12), quando se utilizaram polióis em sua elaboração, assegurando a efetividade de tais aditivos. A sacarose atua na redução da atividade de água, uma vez que é altamente higroscópica, diminuindo o teor de água livre no alimento, a qual é utilizada para as reações deteriorativas (ARAÚJO, 2004; FENNEMA, 2010; MENEZES et al., 2009). De acordo com Zumbé et al. (2001), a higroscopicidade, a 20 °C, do sorbitol é de 74%; a do xilitol, 82% e a do eritritol, 91%.

### 3.1.3 Acidez titulável

O ácido é um constituinte indispensável para a formação do gel elaborado com pectina ATM. Quando não presente na fruta ou se encontrar em quantidades insuficientes, poderá ser adicionado, obedecendo aos limites permitidos pela legislação vigente (BRASIL, 2005). Na fabricação de geleia, a acidez total não deve exceder a 0,8 g de ácido cítrico  $100\text{g}^{-1}$  e o mínimo indicado é de 0,3 g de ácido cítrico  $100\text{g}^{-1}$  (Jackix, 1988). Segundo Freitas et al. (2008), a acidez excessiva pode causar desidratação e hidrólise da pectina, resultando em sinerese.

Os valores de acidez total titulável dos doces elaborados foram semelhantes para ambas as pectinas, entre 0,64 g de ácido cítrico  $100\text{g}^{-1}$  (T4 e T7) a 0,85 g de ácido cítrico  $100\text{g}^{-1}$  (T1), para pectina BTM (Tabela 4) e entre 0,64 g de ácido cítrico  $100\text{g}^{-1}$  (T2) a 0,81 g de ácido cítrico  $100\text{g}^{-1}$  (T6), para pectina ATM (Tabela 5). Estes dados de acidez estão condizentes com a faixa recomendada na literatura (JACKIX, 1988). Observou-se que, para ambos os planejamentos, foram significativos os coeficientes lineares, a 5% de

significância e a interação eritritol-polidextrose, a 10% de significância, para a pectina BTM, significando que a mistura desses agentes de corpo diminuiu os valores de acidez titulável. A polidextrose contribuiu para menores efeitos de acidez e o eritritol contribuiu para maiores efeitos em doces com pectina BTM, resultados condizentes com os valores obtidos na análise de pH. Para os doces com pectina ATM, o sorbitol apresentou o menor efeito.

Os principais fatores que podem influenciar a acidez do produto são a acidez da fruta, a quantidade de ácido adicionado e o tipo de ácido (que não se aplicam a este trabalho).

### **3.1.4 pH**

A adição de acidulantes em doces e geleias tem a finalidade de abaixar o pH, que é medido por meio da concentração de íons hidrogênios dissociados ou livres que existem na solução (LOPES, 2007). A presença de íons  $H^+$  diminui a repulsão intermolecular e favorece a formação de ligações cruzadas essenciais para a gelificação da pectina ATM (ALIKONIS, 1979; GLICKSMAN, 1969).

Nota-se que os valores de pH (Tabelas 4 e 5) obtidos tanto para pectina ATM como para pectina BTM foram superiores aos descritos na literatura, tidos como ideais na fabricação de geleias elaboradas com pectina ATM, uma vez que, segundo Jackix (1988), para garantir a gelificação adequada, os valores de pH devem estar situados entre 3,0 e 3,4. Segundo Crandall & Wicker (1986), o controle do pH é essencial para a formação do gel, quando é utilizada a pectina de alto grau de metoxilação. Embora os valores de pH estejam acima do esperado pela literatura para pectina ATM, foi possível a formação do gel, uma vez que também foram adicionados agentes de corpo e gomas (locusta e carragena) nas formulações, influenciando positivamente a textura (PEREIRA, 2012). No estudo com pectina BTM, apesar dos altos valores de pH, foram

obtidos doces com consistência apropriada, já que a pectina de baixo grau de metoxilação não necessita de uma condição ácida para que ocorra a gelificação e, sim, estar associada com cátions divalentes (VIDECOQ et al., 2011, WILLATS et al., 2006), sendo tolerado pH entre 2,5 a 6,5 (RIBEIRO; SERAVALLI, 2007). Além disso, como todos os valores de pH foram inferiores a 4,5, garante-se o baixo desenvolvimento de bactérias patogênicas esporuladas e deteriorantes, fato que aumenta a durabilidade do produto (CORLETT; BROWN, 1980).

Quanto aos modelos ajustados para o pH (Tabela 6), observou-se que, para os doces elaborados com as duas pectinas, assim como na análise de acidez, foram significativos os coeficientes lineares, a 5% de significância e as interações eritritol-polidextrose e xilitol-polidextrose, a 10% de significância para a pectina BTM, sendo as interações sinérgicas. Dentre os solutos avaliados, obtiveram-se os maiores valores de pH para o tratamento utilizando a polidextrose. Como observado nos modelos, a polidextrose é responsável pelo aumento do pH. Desse modo, deve-se avaliar a necessidade de corrigir a quantidade de ácido a ser adicionado na formulação de acordo com a mistura de soluto utilizada na elaboração do doce.

Os valores de pH dos doces *diet* de frutas do cerrado foram coerentes com os valores da acidez titulável. O pH dos doces com pectina BTM variou entre 3,99 (F1; F3 e F6) a 4,28 (F4) (Tabela 4) e o dos doces com pectina ATM, entre 4,10 (F1) a 4,34 (F4) (Tabela 5).

### 3.1.5 Sinerese

A sinerese é um defeito que consiste na expulsão espontânea da fase aquosa da rede do gel, formando um exsudado na superfície do produto (CHIM et al., 2006; MESQUITA et al., 2013). É um dos principais problemas que

ocorrem em geleias, ao longo do armazenamento (LICODIEDOFF et al., 2010) e em produtos com reduzido teor de sólidos solúveis (VELDE et al., 2003). Segundo Jackix (1988), em geleias com acidez acima de 0,8% pode ocorrer a ocorrência de sinerese.

Quanto aos modelos para sinerese (Tabela 6), observou-se que os doces elaborados com pectina BTM teve influência significativa somente do sorbitol (2,58 cm) e da povidextrose (3,24 cm), sendo a povidextrose responsável pelo maior efeito, já que, assim como o sorbitol, este agente de corpo é altamente higroscópico (GOMES et al., 2007). Para os doces com pectina ATM, todos os coeficientes lineares foram significativos, porém, neste caso, quem teve a maior contribuição para aumentar a sinerese foi o sorbitol (3,05 cm), seguido de xilitol (2,55 cm), povidextrose (2,31 cm) e eritritol (2,16 cm). Os doces elaborados com pectina ATM apresentaram maiores valores de sinerese, quando comparados aos doces com pectina BTM. Uma provável explicação para isso é que houve uma maior desestabilização dos géis, gerando maior expulsão da água livre presente no interior dos doces para o exterior. Segundo Zumbé et al. (2001), uma possível explicação para a formação de sinerese durante o armazenamento de doces e geleias, quando se emprega sorbitol, é a elevada higroscopicidade desse poliálcool. Embora fosse esperado maior valor de sinerese nos doces elaborados com eritritol, devido à cristalização, esse poliálcool proporcionou menores valores, o que pode estar relacionado ao fato de o eritritol apresentar baixa higroscopicidade (JESUS et al., 2010).

Nos doces com pectina ATM e BTM, os valores de sinerese variaram entre 2,08 cm (F1) a 3,44 cm (F10) (Tabela 5), e 0 (F1) a 2,95 cm (F4) (Tabela 4), respectivamente. Segundo Grujic et al. (2010), a sinerese em doces, geleias e compotas elaborados com pectina BTM ocorre devido a diversos fatores (tipo de fruta, concentração de cálcio, valor final do pH) e tais fatores são de extrema importância para manter a estabilidade dos produtos.

### 3.2 Análise colorimétrica

Na Tabela 7 estão os resultados da análise de cor dos doces *diet* de frutas do cerrado e, na Tabela 8, os modelos e seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) variando entre 0,97 a 0,99.

Tabela 4 Respostas da análise de cor dos doces *diet* de frutas do cerrado elaborados com pectina de baixo teor de metoxilação (BTM) e com pectina de alto teor de metoxilação (ATM)

Formulações	L*	a*	b*
<b>Pectina de baixo teor de metoxilação</b>			
1	66,28 ± 1,34	4,07 ± 0,39	27,58 ± 0,73
2	38,41 ± 1,49	2,15 ± 0,35	13,47 ± 0,94
3	33,29 ± 1,15	2,56 ± 0,45	12,65 ± 1,43
4	37,01 ± 1,02	3,48 ± 0,33	17,17 ± 1,30
5	44,13 ± 7,69	3,02 ± 0,58	16,63 ± 5,63
6	38,95 ± 1,98	2,37 ± 0,30	14,63 ± 1,54
7	47,13 ± 2,38	2,08 ± 0,31	18,58 ± 2,14
8	36,92 ± 0,94	2,45 ± 0,36	13,88 ± 2,34
9	39,53 ± 1,88	2,50 ± 0,20	15,82 ± 1,37
10	35,57 ± 1,29	3,45 ± 0,46	17,62 ± 0,90
11	38,23 ± 1,72	2,60 ± 0,13	17,73 ± 1,75
12	35,62 ± 1,24	2,36 ± 0,15	14,53 ± 2,45
13	37,39 ± 1,94	2,64 ± 0,39	15,50 ± 1,50
<b>Pectina de alto teor de metoxilação</b>			
1	62,31 ± 0,83	3,37 ± 0,37	27,63 ± 3,61
2	39,92 ± 2,47	1,34 ± 0,29	14,09 ± 2,59
3	35,31 ± 0,52	2,42 ± 0,28	16,21 ± 1,60
4	34,07 ± 1,42	3,88 ± 0,34	16,91 ± 1,29
5	50,36 ± 2,01	2,10 ± 0,78	18,20 ± 2,31
6	53,57 ± 3,20	1,24 ± 0,35	14,39 ± 1,42
7	44,56 ± 1,59	3,58 ± 1,32	20,21 ± 2,33
8	38,82 ± 1,13	2,33 ± 0,29	17,27 ± 2,94
9	36,75 ± 0,90	2,47 ± 0,24	17,79 ± 1,38
10	38,44 ± 1,15	1,75 ± 0,27	20,05 ± 1,54
11	38,77 ± 1,77	1,62 ± 0,30	15,70 ± 2,71
12	37,57 ± 2,22	2,24 ± 1,13	15,73 ± 2,90
13	37,22 ± 1,64	2,47 ± 0,36	16,67 ± 1,19

Média ± desvio padrão de 3 replicatas

Tabela 5 Modelos preditos para a análise de cor das formulações de doces *diet* de frutas do cerrado elaborados com pectina de baixo teor de metoxilação e com pectina de alto teor de metoxilação

Variável	Tipo de pectina	Modelo predito	R <sup>2</sup>
L*	BTM	$Y = 66,54x_1^* + 36,67x_2^* + 33,55x_3^* + 37,27x_4^* - 35,99x_1x_2^* - 46,48x_1x_3^* - 21,17x_1x_4^{**} + 1,15x_2x_3 + 4,19x_2x_4 - 1,42x_3x_4$	0,9921
	ATM	$Y = 63,33x_1^* + 40,94x_2^* + 36,33x_3^* + 35,09x_4^* - 15,29x_1x_2 + 6,75x_1x_3 - 26,83x_1x_4 - 7,46x_2x_3 - 13,28x_2x_4 + 2,70x_3x_4$	0,9366
a*	BTM	$Y = 4,05x_1^* + 2,13x_2^* + 2,54x_3^* + 3,47x_4^* - 0,15x_1x_2 - 3,58x_1x_3^* - 6,60x_1x_4^* + 0,56x_2x_3 - 1,06x_2x_4 + 1,90x_3x_4^{**}$	0,9853
	ATM	$Y = 3,35x_1^* + 1,32x_2^* + 2,41x_3^* + 3,86x_4^* - 0,79x_1x_2 - 6,42x_1x_3^* + 0,03x_1x_4 + 2,05x_2x_3 - 0,31x_2x_4 - 5,37x_3x_4^{**}$	0,9499
b*	BTM	$Y = 27,50x_1^* + 13,39x_2^* + 12,57x_3^* + 17,09x_4^* - 14,63x_1x_2 - 20,99x_1x_3^* - 14,23x_1x_4 + 4,24x_2x_3 - 2,95x_2x_4 + 11,78x_3x_4$	0,9665
	ATM	$Y = 27,88x_1^* + 14,35x_2^* + 16,46x_3^* + 17,17x_4^* - 13,73x_1x_2^{**} - 33,21x_1x_3^* - 11,34x_1x_4 + 5,41x_2x_3 + 6,06x_2x_4 + 10,86x_3x_4$	0,9735

X<sub>1</sub>: fração mássica de eritritol, X<sub>2</sub>: fração mássica de sorbitol, X<sub>3</sub>: fração mássica de xilitol, X<sub>4</sub>: fração mássica de polidextrose, utilizados na regra da mistura

\* significativo, a 0,05

\*\* significativo, a 0,10

Com relação ao parâmetro L\* da análise que varia de 0 (preto) a 100 (branco), para pectina BTM, os coeficientes lineares (eritritol, sorbitol, xilitol e polidextrose) e as interações eritritol-sorbitol e eritritol-xilitol foram significativos, a 5% e a interação eritritol-polidextrose, a 10%, tendo os efeitos das interações sido negativos, significando que o uso combinado destes agentes de corpo pode diminuir os valores de L\*, ou seja, contribui para o escurecimento dos doces. Para pectina ATM foram significativos somente os termos lineares (Tabela 8). Em ambos os experimentos, o eritritol aumentou de forma expressiva o valor de L\* (Tabela 7), deixando os doces mais brancos. Por ser menos solúvel que os demais polióis utilizados, este poliól é vulnerável à cristalização

(ZUMBÉ et al., 2001) e, devido à formação de cristais, os doces apresentaram aparência esbranquiçada, contribuindo para o aumento deste parâmetro.

No que diz respeito ao parâmetro  $a^*$ , para os doces elaborados com pectina BTM, foram significativos os fatores lineares, assim como as interações antagônicas eritritol-xilitol e eritritol-polidextrose e a interação sinérgica xilitol-polidextrose, a 10%. Nos doces com pectina ATM, também foram significativos os fatores lineares e as interações eritritol-xilitol e xilitol-polidextrose (Tabela 8). Nota-se, pelos modelos, que tanto o eritritol como a polidextrose, principalmente em seus componentes puros, proporcionaram maiores efeitos, contribuindo para deixar os doces mais avermelhados, já que  $a^*$  varia do verde (-) ao vermelho (+). Os valores de  $a^*$  variaram de 2,08 (T7) a 4,07 (T1) (BTM) e de 1,24 (T6) a 3,37 (T1) (ATM) (Tabela 7).

Para o parâmetro  $b^*$  foram significativos os fatores lineares e a interação eritritol-xilitol, para ambos os experimentos, a 5% de significância e a interação eritritol-sorbitol, a 10% de significância, para pectina ATM. O eritritol, assim como no parâmetro  $L^*$ , aumentou os valores de  $b^*$ , proporcionando aos doces uma cor amarela, já que esse parâmetro varia do azul (-) ao amarelo (+), e também mais clara, devido aos altos valores de  $L^*$  (Tabela 8). Nos doces elaborados com pectina BTM, os valores de  $b^*$  variaram entre 12,65 (T3) a 27,58 (T1) e, nos doces com pectina ATM, variaram entre 14,09 (T2) a 27,63 (T1) (Tabela 7).

### **3.3 Análise sensorial dos doces *diet* de frutas do cerrado**

Nas Tabelas 9 e 10 observam-se as médias e, na Tabela 11, os modelos preditos para os atributos sensoriais obtidos por meio do teste de aceitação de 40 consumidores.

Tabela 6 Médias dos atributos sensoriais de doces *diet* de frutas do cerrado, elaborados com pectina de baixo teor de metoxilação (BTM)

Formulações	Atributos sensoriais				
	Cor	Sabor	Doçura	Textura	IG
	<b>Pectina de baixo teor de metoxilação</b>				
1	4,19	6,11	6,38	4,43	5,24
2	7,73	6,89	7,11	7,59	7,19
3	7,68	7,16	6,95	7,35	7,16
4	7,14	5,76	5,84	6,62	5,97
5	5,22	6,41	6,57	6,05	6,24
6	6,43	7	6,7	6,92	6,66
7	5,92	6,05	6,05	6,38	5,93
8	7,46	7,11	7,11	7,14	7
9	7,43	6,54	6,78	6,78	6,58
10	7,59	7	6,97	7,05	6,89
11	7,65	7,24	7,11	7,24	7,16
12	7,41	6,95	7,08	7,08	7,04
13	7,65	6,86	6,89	7,38	6,97

Tabela 7 Médias dos atributos sensoriais de doces *diet* de frutas do cerrado, elaborados com pectina de alto teor de metoxilação (ATM)

Tratamentos	Atributos sensoriais				
	Cor	Sabor	Doçura	Textura	IG
	<b>Pectina de alto teor de metoxilação</b>				
1	4,08	6,16	6,18	5,03	5,29
2	7,5	6,89	6,84	6,84	6,88
3	7,45	7,16	7,32	7,47	7,26
4	6,84	6,13	6,37	6,39	6,32
5	6,08	6,55	6,63	6,24	6,24
6	5,61	6,61	6,74	6	6,07
7	6,45	6,45	6,74	6,26	6,29
8	7,68	7	6,92	7,45	7,05
9	7,82	7,18	7,05	7,37	7,2
10	7,58	6,97	6,89	7,05	6,93
11	7,66	6,84	7,16	7,5	7,18
12	7,53	7,03	7,13	6,58	7,07
13	7,42	7,24	7,24	7,58	7,36

IG: Impressão global

Tabela 8 Modelos preditos para os atributos sensoriais das formulações de doces *diet* de frutas do cerrado, elaborados com pectina de baixo teor de metoxilação e com pectina de alto teor de metoxilação

Variável	Tipo de pectina	Modelo predito	R <sup>2</sup>
Cor	BTM	$Y = 4,04x_1^* + 7,58x_2^* + 7,53x_3^* + 6,99x_4^* - 1,12x_1x_2 + 3,63x_1x_3 + 2,77x_1x_4 + 0,77x_2x_3 + 1,85x_2x_4 + 2,39x_3x_4$	0,9288
	ATM	$Y = 4,00x_1^* + 7,42x_2^* + 7,37x_3^* + 6,77x_4^* + 2,06x_1x_2 + 0,27x_1x_3 + 4,85x_1x_4^* + 1,75x_2x_3 + 3,48x_2x_4^{**} + 2,64x_3x_4$	0,9784
Sabor	BTM	$Y = 6,07x_1^* + 6,85x_2^* + 7,12x_3^* + 5,72x_4^* + 0,07x_1x_2 + 1,91x_1x_3 + 0,94x_1x_4 + 0,77x_2x_3 + 1,31x_2x_4 + 2,61x_3x_4^{**}$	0,9460
	ATM	$Y = 6,14x_1^* + 6,87x_2^* + 7,14x_3^* + 6,11x_4^* + 0,37x_1x_2 + 0,06x_1x_3 + 1,48x_1x_4 + 0,16x_2x_3 + 2,95x_2x_4^* + 1,58x_3x_4$	0,9390
Doçura	BTM	$Y = 6,34x_1^* + 7,06x_2^* + 6,90x_3^* + 5,80x_4^* - 0,19x_1x_2^* + 0,67x_1x_3 + 0,30x_1x_4 + 0,84x_2x_3 + 1,76x_2x_4 + 2,84x_3x_4^{**}$	0,9436
	ATM	$Y = 6,14x_1^* + 6,80x_2^* + 7,27x_3^* + 6,32x_4^* + 1,00x_1x_2 + 0,47x_1x_3 + 2,37x_1x_4^{**} - 0,10x_2x_3 + 2,32x_2x_4^{**} + 0,74x_3x_4$	0,9242
Impressão global	BTM	$Y = 5,17x_1^* + 7,12x_2^* + 7,09x_3^* + 5,90x_4^* + 0,94x_1x_2 + 2,67x_1x_3 + 2,13x_1x_4 + 0,13x_2x_3 + 0,83x_2x_4 + 2,13x_3x_4$	0,9416
	ATM	$Y = 5,21x_1^* + 6,80x_2^* + 7,19x_3^* + 6,24x_4^* + 1,53x_1x_2 + 0,08x_1x_3 + 2,87x_1x_4 + 0,85x_2x_3 + 3,32x_2x_4 + 1,51x_3x_4$	0,9251

X<sub>1</sub>: fração mássica de eritritol, X<sub>2</sub>: fração mássica de sorbitol, X<sub>3</sub>: fração mássica de xilitol, X<sub>4</sub>: fração mássica de polidextrose, utilizados na regra da mistura

\* significativo, a 0,05

\*\* significativo, a 0,10

De acordo com os modelos, observou-se que, para todos os atributos, foram significativos os seus coeficientes lineares (Tabela 11).

O atributo cor variou de 4,19 (T1) a 7,68 (T3) e de 4,08 (T1) a 7,82 (T9), para pectina BTM e ATM, respectivamente (Tabelas 9 e 10). Quanto aos modelos para ambos os planejamentos (Tabela 11), o sorbitol apresentou o

maior efeito e o eritritol, o menor efeito. Essa menor contribuição do eritritol se deve ao fato de os doces ficarem com uma aparência esbranquiçada, devido à cristalização desse polioli. Os modelos mostram que o uso do eritritol influenciou negativamente a nota dos provadores, uma vez que maiores concentrações de eritritol resultaram em menores notas. Esse resultado pode ser relacionado ao parâmetro  $L^*$  da análise colorimétrica, já que os doces com eritritol apresentaram maiores valores deste parâmetro. Além disso, foi observado efeito significativo da interação sorbitol e polidextrose para pectina ATM, em que a mistura desses agentes melhora as notas sensoriais.

Em relação ao sabor, à doçura e à impressão global, os que contribuíram para maiores efeitos e, portanto, melhores notas, foram o xilitol e o sorbitol, como componentes puros em ambos os planejamentos. Para sabor, a polidextrose foi responsável pelo menor efeito, porém, quando misturada com sorbitol e também xilitol, ela pode obter melhores resultados, já que as interações significativas foram sinérgicas. De acordo com Martinez Cervera et al. (2012), bolos processados com 100% de substituição da sacarose pela polidextrose obtiveram menor aceitação para todos os atributos sensoriais avaliados. Estes mesmos autores também verificaram que somente a formulação que substituiu 50% da sacarose atingiu aparência, cor, doçura e impressão global semelhante ao controle elaborado com sacarose.

Basu et al. (2011), em geleias de manga com pectina de alto teor de metoxilação substituindo a sacarose por sorbitol, verificaram que a aceitabilidade foi maior para as geleias com sorbitol, observando pontuação máxima para impressão global com 75% de substituição por sorbitol. De acordo com Richter et al. (2007), o sorbitol é bastante utilizado em produtos propensos ao ressecamento e ao endurecimento, como chocolates, recheios e doces. Yuyama et al. (2008) verificaram similaridade entre as geleias elaboradas com xilitol e com sacarose, já que não houve diferença significativa entre elas,

confirmando que o uso de xilitol em relação aos atributos sensoriais pode ser bastante promissor para substituir a sacarose.

### **3.4 Avaliação da aceitabilidade dos doces *diet* de frutas do cerrado usando o PARAFAC**

PARAFAC é um método para a decomposição de dados de ordem superior e pode ser considerado uma generalização da análise de componentes principais de dados multidimensionais (BRO,1997; SOUZA et al., 2012). Esse método é adequado para fazer uma interpretação exploratória das amostras e das variáveis em diferentes condições em que os dados foram gerados (SOUZA et al., 2012).

Durante a construção do mapa de preferência interno de três vias por PARAFAC, a escolha do número de fatores pode ser feita pela análise de consistência do núcleo de valor (CORCONDIA) (BRO; KIERS, 2003). Um valor de CORCONDIA acima de 90% pode ser interpretado como um modelo adequado, enquanto um valor de 50% significaria um modelo problemático. Um valor de CORCONDIA próximo de zero ou negativo implica um modelo inválido. O valor mais adequado é aquele que fornece um maior número de fatores e que implique em um modelo válido (BRO; KIERS, 2003; NUNES et al., 2011). Dessa forma, optou-se por utilizar, para ambos os experimentos, o modelo com dois fatores, o qual apresentou valores de CORCONDIA de 96,77% e 91,81%, para pectina ATM e BTM, respectivamente.

Na Tabela 12 são apresentados os valores de CORCONDIA e a variância explicada para quatro fatores.

Tabela 9 Desempenho dos modelos PARAFAC para os dados de aceitação dos doces *diet* de frutas do cerrado

<b>Fatores</b>	<b>CONCORDIA (%)</b>	<b>Variância explicada (%)</b>
<b>Pectina de baixo teor de metoxilação</b>		
1	100	28,42
2	91,81	39,64
3	68,40	46,45
4	11,40	53,19
<b>Pectina de alto teor de metoxilação</b>		
1	100	28,06
2	96,77	38,77
3	2,16	44,67
4	30,50	51,39

Nas Figuras 1a e 1b mostra-se o mapa de preferência interno de três vias, que é uma representação da distribuição dos consumidores, das amostras e da aceitação dos atributos sensoriais avaliados pelos consumidores.

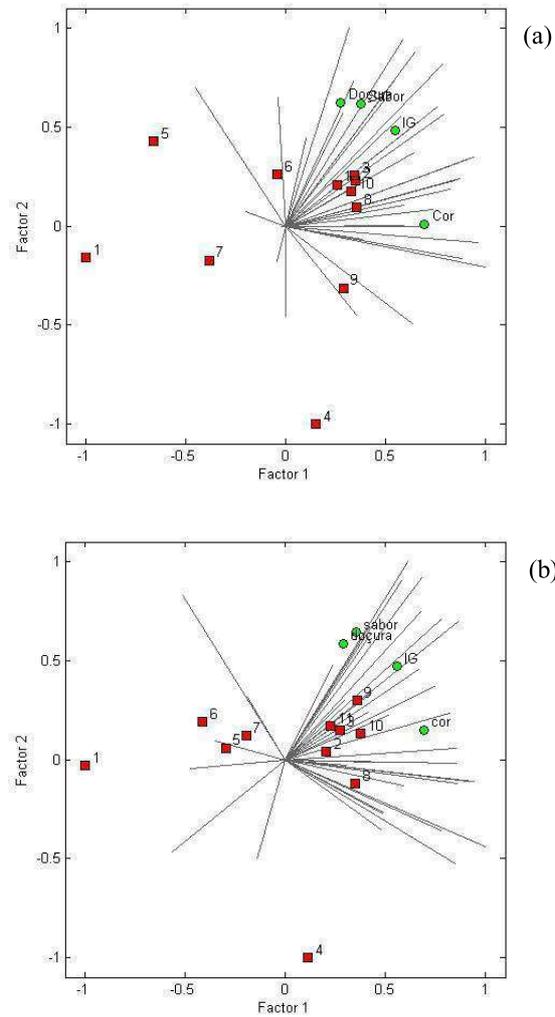


Figura 2 Mapa de preferência interno de três vias (PARAFAC) para os doces *diet* de frutas do cerrado. (a) doces elaborados com pectina BTM, (b) doces elaborados com pectina ATM. Consumidores representados por vetores, amostras por quadrados e atributos sensoriais por círculos. A formulação 11 é a média das formulações 11, 12 e 13. IG: impressão global

Nota-se que, no experimento elaborado com pectina BTM, as formulações menos aceitas para todos os atributos sensoriais foram 1 (100% de eritritol), 4 (100% de polidextrose), 5 (50% de eritritol e 50% de sorbitol) e 7 (50% de eritritol e 50% de polidextrose), ou seja, formulações elaboradas com eritritol e polidextrose como componentes puros e também utilizados em misturas foram rejeitadas pelos consumidores. Já para a pectina ATM, as formulações 1, 4 e 7 também não foram aceitas, assim como a formulação 6 (50% de eritritol e 50% de xilitol). Observou-se também que, para as duas pectinas, as demais formulações apresentaram similaridade quanto à aceitação sensorial.

Pode-se dizer que o tipo de pectina não interferiu tanto na aceitação das amostras, e, sim, a utilização dos agentes de corpo.

#### 4 CONCLUSÃO

Os resultados indicaram que todas as propriedades (físico-químicas e sensoriais) foram afetadas por todos os agentes de corpo, em seus respectivos coeficientes lineares, ou seja, como componentes puros, com exceção da sinerese nos doces elaborados com pectina BTM, que foi afetada somente pelo sorbitol e a polidextrose.

O eritritol e a polidextrose não devem ser utilizados como componentes puros nas concentrações utilizadas neste trabalho, uma vez que provocaram alterações indesejáveis nas propriedades físico-químicas e influenciaram negativamente as notas dos atributos sensoriais. Já o xilitol proporcionou menores valores de atividade de água e também melhores notas sensoriais. O sorbitol puro, embora tenha se destacado também na sensorial, assim como o xilitol, provocou maiores valores de sinérese, principalmente nos doces elaborados com pectina ATM.

Observou-se que, principalmente os valores de umidade e sinerese tendem a ser mais elevados para os doces elaborados com pectina ATM. Para as demais variáveis resposta e também para os atributos sensoriais, pode-se dizer que os valores foram próximos para ambas às pectinas. Porém, em relação à aceitabilidade, o tipo de pectina não interferiu nos resultados e, sim, os agentes de corpo.

## REFERÊNCIAS

ALIKONIS, J. J. Starch and pectin jellies. In: BELLARDE, F. B. **Candy Technology**. Connecticut: AVI, 1979. Cap. 10, p. 109-118.

ALMEIDA, E. L.; RAMOS, A. M.; BINOTI, M. L.; CHAUCA, M. C. Análise de perfil de textura e aceitabilidade sensorial de goiabadas desenvolvidas com diferentes edulcorantes. **Revista Ceres**, v. 56, n. 6, p. 697–704, 2009.

ALMEIDA, M. M. B.; SOUSA, P. H. M. DE; ARRIAGA, Â. M. C.; et al. Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh exotic fruits from northeastern Brazil. **Food Microbiology**, v. 44, p. 2155–2159, 2011.

ALMRHAG, O.; GEORGE, P.; BANNIKOVA, A.; et al. Analysis on the effectiveness of co-solute on the network integrity of high methoxy pectin. **Food Chemistry**, v. 135, n. 3, p. 1455–62, 2012.

ARAÚJO, J.M.A., Química de Alimentos. Teoria e Prática. Editora UFV: São Paulo, 3 ed., 2004.

BASU, S.; SHIVHARE, U. S. Rheological , textural , micro-structural and sensory properties of mango jam. **Journal of Food Engineering**, v. 100, n. 2, p. 357–365, 2010.

BERG, S.; BRETZ, M.; HUBBERMANN, E. M.; SCHWARZ, K. Influence of different pectins on powder characteristics of microencapsulated anthocyanins and their impact on drug retention of shellac coated granulate. **Journal of Food Engineering**, v. 108, n. 1, p. 158–165, 2012.

BRANDÃO, E. M.; ANDRADE, C. T. Influência de fatores estruturais no processo de gelificação de pectinas de alto grau de metoxilação. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 9, n. 3, p. 38–44, 1999.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC n.18, de 24 de março de 2008**. Regulamento Técnico que autoriza o uso de aditivos edulcorantes em alimentos, com seus respectivos limites máximos. Disponível em: <  
<http://www.brasilsus.com.br/legislacoes/rdc/12968-18.html>> Acesso em: 20 jun. 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC n. 272, de 22 de setembro de 2005**. Regulamento técnico para produtos de vegetais, produtos de frutas e cogumelos comestíveis. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br/e-legis/>>. Acesso em: 18 jul. 2013.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC n. 9 de Dezembro de 1978**. Resolução Normativa da Câmara Técnica de Alimentos do Conselho Nacional de Saúde. Disponível em:

BRO, R. 1997. *PARAFAC*. Tutorial and applications. *Chemom.Intell. Lab. Syst.* 38, 149–171.

BRO, R.; KIERS, H. A. L. A new efficient method for determining the number of components in PARAFAC models. **Journal of Chemometrics**, v. 17, p. 274–286, 2003.

CARDOSO, L. de M.; MARTINO, H. S. D.; MOREIRA, A. V. B.; RIBEIRO, S. M. R.; PINHEIRO-SANT'ANA, H. M. Cagaíta (*Eugenia dysenterica* DC.) of the Cerrado of Minas Gerais, Brazil: Physical and chemical characterization, carotenoids and vitamins. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 2151–2154, 2011.

CARDOSO, S. M.; COIMBRA, M. A.; LOPES DA SILVA, J. A. Temperature dependence of the formation and melting of pectin–Ca<sup>2+</sup> networks: a rheological study. **Food Hydrocolloids**, v. 17, n. 6, p. 801–807, 2003.

CHIM, J. F.; ZAMBIAZI, R. C.; BRUSCATTO, M. H. Doces em massa *light* de morango: caracterização físico-química e sensorial. **Alimentos e Nutrição**, v. 17, n. 3, p. 295–301, 2006.

COELHO, M. T. Pectina: Características e Aplicações em Alimentos. , 2008.

CORLETT Jr., P. A., BROWN, M. H. pH and acidity. In: INTERNATIONAL COMMISSION ON MICROBIOLOGICAL SPECIFICATIONS FOR FOODS. **Microbial ecology of foods: factors affecting life and death of microorganisms**. New York: Academic Press, 1980. v. 1, p. 921.

Cornell, J. A. (1983). Experiment with mixtures: design, models and analysis of mixtures data. New York: John Wiley.

CRAIG, S. A. S.; HOLDEN, J.; TROUP, J. P.; AUERBACH, M. H.; FRIER, H. I. Polydextrose as soluble fibre: Physiological and analytical aspects. **Cereal Foods World**, v. 43, p. 370–376, 1998.

CRANDALL, P. G.; WICKER, L. Pectin internal gel strength: theory, measurement and methodology. In: MARSHALL, L.; FISHMAN, J. J. J. **Chemistry and function of pectins**. Oxford: American Chemical Society, 1986, p. 88-10.

DAMIANI, C.; ASQUIERI, E. R.; LAGE, M. E.; OLIVEIRA, R. A. DE; SILVA, FLAVIO ALVES DA, PEREIRA, DOUGLAS ENDRIGO PEREZ, VILAS BOAS, E. V. DE B. Study of the shelf-life of a mixed aração (*Psidium guineensis* Sw.) and marolo (*Annona crassiflora* Mart.) jam. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 32, n. 2, p. 334–343, 2012.

DRUZIAN, J. I.; DOKI, C.; SCAMPARINI, A. R. P. Determinação simultânea de açúcares e polióis por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE-IR) em sorvetes de baixas calorias (“diet”/“light”). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 2, p. 279–284, 2005.

EL-NAWAWI, S. A.; HEIKEL, Y. A. Factors affecting gelation of high-ester citrus pectin. **Process Biochemistry**, v. 32, n. 5, p. 381–385, 1997.

FADINI, A. L.; JARDIM, D. C. P.; QUEIROZ, M. B.; et al. Características sensoriais e de textura de chicletes drageados *diet* produzidos com diferentes tipos de polióis. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 8, n. 2, p. 113–119, 2005.

FENNEMA, O. R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Química de Alimentos de Fennema** – 4ª Ed – Editora Artmed, 2010.

FENNEMA, O.R. Química de alimentos. 4ªed. – Editora Artmed, 2010.

FRAEYE, I.; DOUNGLA, E.; DUVETTER, T.; et al. Influence of intrinsic and extrinsic factors on rheology of pectin–calcium gels. **Food Hydrocolloids**, v. 23, n. 8, p. 2069–2077, 2009.

FRANCO, B. G. M.; LANGDGRAF, M. **Microbiologia dos Alimentos**. São Paulo: Atheneu, 1996. 182 p.

FREITAS, J. B.; CÂNDIDO, T. L. N.; SILVA, M. R. Geléia de Gabiroba: Avaliação da aceitabilidade e características físicas e químicas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, n. 2, p. 87–94, 2008.

FU, J. T.; RAO, M. A. Rheology and structure development during gelation of low-methoxyl pectin gels: the effect of sucrose. **Food Hydrocolloids**, v. 15, n. 1, p. 93–100, 2001.

GABRIEL, A. A. Estimation of water activity from pH and ° Brix values of some food products. **Food Chemistry**, v. 108, p. 1106–1113, 2008.

GHOSH, S.; SUDHA, M. L. A review on polyols : new frontiers for health-based bakery products. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 63, n. 3, p. 372–379, 2012.

GLICKSMAN, M. **Gum technology in the food industry**. New York: Academic, 1969. p 159-189.

GOMES, C. R.; VISSOTTO, F. Z.; FADINI, A. L.; FARIA, E. V. DE; LUIZ, A. M. Influência de diferentes agentes de corpo nas características reológicas e sensoriais de chocolates *diet* em sacarose e *light* em calorias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 3, p. 614–623, 2007.

GROSSO, C. F. **Efeito de diferentes açúcares, pectinas e ligações de água na formação de géis pécnicos**. 1992. 116p. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1992.

GROSSO, C. R. .; BOBBIO, P. .; AIROLDI, C. Effect of sugar and sorbitol on the formation of low methoxyl pectin gels. **Carbohydrate Polymers**, v. 41, n. 4, p. 421–424, 2000.

GRUJIC, S.; GRUJIC, R.; POLJASEVIC, J. Effect of food additives on sensory characteristics of thermo-stable marmalade. **Electronic Journal od Polish Agricultura Universities**, v. 13, n. 2, p. 1–16, 210AD.

HE, N.; SMEDS, A.; FRIMAN, R.; ROSENHOLM, J. B. Solubility parameters of biopolymers. **Physics and Chemistry of Liquids**, v. 51, n. 3, p. 302–316, 2013.

HOLM, K.; WENDIN, K.; HERMANSSON, A.-M. Sweetness and texture perception in mixed pectin gels with 30% sugar and a designed rheology. **LWT - Food Science and Technology**, v. 42, n. 3, p. 788–795, 2009.

HU, Y.; JIANG, X.; YANG, W.; et al. Solubility of erythritol in different aqueous solvent mixtures. **Journal of Molecular Liquids**, v. 169, p. 74–79, 2012.

IGUAL, M.; CONTRERAS, C.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Colour and rheological properties of non-conventional grapefruit jams : Instrumental and sensory measurement. **LWT - Food Science and Technology**, v. 56, p. 200–206, 2014.

JACKIX, M. H. **Doces, geleias e frutas em calda**. São Paulo: Ícone, p.85-158, 1988.

JESUS, A J. L.; NUNES, S. C. C.; SILVA, M. R.; BEJA, A. M.; REDINHA, J. S. Erythritol: crystal growth from the melt. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 388, n. 1-2, p. 129–135, 2010.

KOCER, D.; HICSASMAZ, Z.; BAYINDIRLI, A.; SINAN, K. Bubble and pore formation of the high-ratio cake formulation with polydextrose as a sugar- and fat-replacer. **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 953–964, 2007.

Labuza, T. P., Tannenbaum, S. R., & Karel, M. (1970). Water content and stability of lowmoisture and intermediate-moisture foods. *Food Technology*, 24, 543–550.

LAGO, E. S.; GOMES, E.; SILVA, R. DA. Produção de geléia de jambolão (*Syzygium cumini* Lamarck): processamento, parâmetros físico – químicos e avaliação sensorial. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 4, p. 847–852, 2006.

LEE, M.; YANG, H.; KIM, B.; JO, A.; PARK, Y. Inhibition of browning and preference improvements of *Dioscorea batatas* through the addition of sugar alcohols and organic acids. **Journal of Food Science and Nutrition**, v. 14, p. 220–225, 2009.

LEGAZ, M. E.; VICENTE, C. Sugar alcohols. **Carbohydrates**, p. 427–439, 2005.

LICODIEDOFF, S.; AQUINO, A. D. DE; GODOY, R. C. B. DE; LEDO, C. A. DA S. Avaliação da sinérese em geléia de abacaxi por meio de análise uni e multivariada. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 31, n. 1, p. 51–56, 2010.

LÖFGREN, C.; HERMANSSON, A.-M. Synergistic rheological behaviour of mixed HM/LM pectin gels. **Food Hydrocolloids**, v. 21, n. 3, p. 480–486, 2007.

MARTÍNEZ-CERVERA, S.; SANZ, T.; SALVADOR, A.; FISZMAN, S. M. Rheological, textural and sensorial properties of low-sucrose muffins reformulated with sucralose / polydextrose. **LWT - Food Science and Technology**, v. 45, p. 213–220, 2012.

MARTINS, M. L. LMEIDA; BORGES, S. V.; DELIZA, R.; CASTRO, F. T. DE; CAVALCANTE, N. DE B. Características de doce em massa de umbu verde e maduro e aceitação pelos consumidores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 9, p. 1329–1333, 2007.

MCGORRIN, R. J. Character-impact flavor compounds. In: MARSILI, R. (Ed.). **Sensory directed flavor analysis**. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2007. p. 223–267.

MENEZES, C. C. **Otimização e avaliação da presença do sorbato de potássio e das embalagens sobre o doce de goiaba durante o armazenamento**. 2008. 145p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

MENEZES, C. C.; BORGES, S. V.; CIRILLO, M. Â.; et al. Caracterização física e físico-química de diferentes formulações de doce de goiaba (*Psidium guajava* L.) da cultivar Pedro Sato. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 3, p. 618–625, 2009.

MENEZES, C. C.; CARNEIRO, JOÃO DE DEUS SOUZA, BORGES, S. V.; SILVA, VERA SÔNIA NUNES DA, BRIGAGÃO, MAÍSA RIBEIRO PEREIRA LIMA, AZEVEDO, L. Development of low-calorie guava preserves with prebiotics and evaluation of their effects on carcinogenesis biomarkers in rats. **Food and Chemical Toxicology**, v. 50, p. 3719–3724, 2012. lavras.

MESQUITA, K. S.; BORGES, S. V.; CARNEIRO, J. DE D. S.; MENEZES, C. C.; MARQUES, G. R. Quality alterations during storage of sugar-free guava jam with added prebiotics. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 37, p. 806–813, 2013.

MOSER, P.; CORNELIO, M. L.; TELIS, V. R. N. Influence of the concentration of polyols on the rheological and spectral characteristics of guar gum. **LWT - Food Science and Technology**, v. 53, n. 1, p. 29–36, 2013.

MOURA, SILVIA CRISTINA SOBOTTKA ROLIM DE, PRATI, P.; VISSOTTO, F. Z.; ORMENESE, R. DE C. S. C.; RAFACHO, M. DOS S. Color degradation kinetics in low-calorie strawberry and guava jellies. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, n. 3, p. 758–764, 2011.

NETO, C. J. F.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. DE M. Avaliação sensorial e da atividade de água em farinhas de mandioca temperadas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 4, p. 795–802, 2005.

NGOUÉMAZONG, D. E. et al. Effect of de-methylesterification on network development and nature of Ca<sup>2+</sup>-pectin gels: toward understanding structure-function relations of pectin. **Food Hydrocolloids**, v. 26, p. 89-98, 2012.

NOPIANTI, R.; HUDA, N.; ISMAIL, N.; ARIFFIN, F.; EASA, A. M. Effect of polydextrose on physicochemical properties of threadfin bream (*Nemipterus spp*) surimi during frozen storage. **Journal of Food Science and Technology**, v. 50, n. 4, p. 739–46, 2013.

NUNES, C. A.; PINHEIRO, A. N. A. C. M. Evaluating consumer acceptance tests by three-way internal preference mapping obtained by parallel factor analysis ( PARAFAC ). **Journal of Sensory Studies**, v. 26, p. 167–174, 2011.

OLIVEIRA, M. C. B. M. **Propriedades de equilíbrio de sistemas aquosos com ácidos policarboxílicos, açúcares e sucos de frutas**. 2005. 170p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

ORSI, D. C.; CARVALHO, V. S.; NISHI, A. C. F.; DAMIANI, C.; ASQUIERI, E. R. Use of sugar apple, atemoya and soursop for technological development of jams – chemical and sensorial composition. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 36, n. 5, p. 560–566, 2012.

PRATI, P.; BERBARI, S. A. G.; PACHECO, M. T. B.; SILVA, M. G. DA; NACAZUME, N. Estabilidade dos componentes funcionais de geleia de yacon, goiaba e acerola, sem adição de açúcares. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 12, n. 04, p. 285–294, 2009.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de alimentos**. 2ª edição. São Paulo: Edgard Blücher, 33 – 75p, 2007.

SIEFARTH, C.; TYAPKOVA, O.; BEAUCHAMP, J.; et al. Influence of polyols and bulking agents on flavour release from low-viscosity solutions. **Food Chemistry**, v. 129, n. 4, p. 1462–1468, 2011.

SILVA, B. D.; SILVA, J. A.; JUNQUEIRA, N. T. V.; ANDRADE, L. R. M. **Frutas do cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, p.178, 2001.

SILVA, J. A. **Tópicos da tecnologia dos alimentos**, São Paulo: Livraria Varela, 2000. 227p.

SOUZA, V. R. DE; PEREIRA, P. A. P.; PINHEIRO, A. C. M.; et al. Evaluation of the jelly processing potential of raspberries adapted in Brazil. **Journal of Food Science**, v. 79, n. 3, p. 407–412, 2014.

SOUZA, V. R. DE; PEREIRA, P. A. P.; QUEIROZ, F.; BORGES, S. V.; CARNEIRO, J. DE D. S. Determination of bioactive compounds , antioxidant activity and chemical composition of Cerrado Brazilian fruits. **Food Chemistry**, v. 134, n. 1, p. 381–386, 2012a.

SOUZA, VANESA RIOS DE, PEREIRA, P. A. P.; PINHEIRO, ANA CARLA MARQUES, NUNES, C. A.; SILVA, T. L. T. DA; BORGES, S. V.; QUEIROZ, F. Multivariate approaches for optimization of the acceptance : optimization of a brazilian cerrado fruit jam using mixture design and parallel factor analysis. **Journal of Sensory Studies**, v. 27, p. 417–424, 2012b.

STONE, H. S.; SIDEL, J. L. (1993). *Sensory Evaluation Practices*, Academic Press, San Diego, CA.

STUMM, I.; BALTES, W. Analysis of the linkage positions in polydextrose by the reductive cleavage method. **Food Chemistry**, v. 59, n. 2, p. 291–297, 1997.

SUUTARINEN, M. **Effects of prefreezing treatments on the structure of strawberries and jams**, Ph.D. Thesis, VTT, Helsinki University of Technology, Finland. 2002. Helsinki University of Technology. 2002

TORREZAN, R.; JARDINE, J. G.; VITALI, A. DE A. Efeito da adição de solutos e ácidos em poupa de goiaba. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 19, n. 1, p. 1–7, 1999.

TSOGA, A.; RICHARDSON, R. K.; MORRIS, E. R. Role of cosolutes in gelation of high-methoxy pectin . Part 1 . Comparison of sugars and polyols. **Food Hydrocolloids**, v. 18, p. 907–919, 2004.

VELDE, D.; WEINBRECK, F.; EDELMAN, M. W.; LINDEN, E. VAN DER; TROMP, R. H. Visualisation of biopolymer mixtures using confocal scanning laser microscopy ( CSLM ) and covalent labelling techniques. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 31, p. 159–168, 2003.

VIDECOQ, P.; GARNIER, C.; ROBERT, P.; BONNIN, E. Influence of calcium on pectin methylesterase behaviour in the presence of medium methylated pectins. **Carbohydrate Polymers**, v. 86, n. 4, p. 1657–1664, 2011. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861711005510>>. Acesso em: 12 jan. 2015.

VIEIRA, R. F.; COSTA, T. S. A.; SILVA, D. B.; FERREIRA, F. R.; SANO, S. M. Frutas nativas da região do Centro-Oeste. **Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia**, 320p. 2006.

WAKELING, I. N., & MACFIE, H. J. H. (1995). Designing consumer trials balanced for first and higher orders of carry-over effect when only a subset of k samples from t may be tested. *Food Quality and Preference*, 6, 299-308. 1995.

WILLATS, W. G. .; KNOX, J. P.; MIKKELSEN, J. D. Pectin: new insights into an old polymer are starting to gel. **Trends in Food Science & Technology**, v. 17, n. 3, p. 97–104, 2006.

YOUNG, N. W. G.; KAPPEL, G.; BLADT, T. A polyuronan blend giving novel synergistic effects and bake-stable functionality to high soluble solids fruit fillings. **Food Hydrocolloids**, v. 17, p. 407–418, 2003.

YUYAMA, LUCIA KIYOKO OZAKI PANTOJA, L.; MAEDA, ROBERTO NOBUYUKI, AGUIAR, J. P. L.; SILVA, S. B. DA. Desenvolvimento e aceitabilidade de geléia dietética de cubiu ( *Solanum sessiliflorum* Dunal ). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 2008, n. 2710, p. 929–934, 2008.

ZAMBLIAZI, R. C.; CHIM, J. F.; BRUSCATTO, M. Avaliação das características e estabilidade de geleias *light* de morango. **Alimentos e Nutrição**, v. 17, n. 2, p. 165–170, 2006.

ZOTARELLI, M. F.; ZANATTA, C. L.; CLEMENTE, E. Avaliação de geleias mistas de goiaba e maracujá. **Revista Ceres**, v. 55, n. 6, p. 562–567, 2008.

ZUMBÉ, A.; LEE, A.; STOREY, D. Polyols in confectionery : the route to sugar-free, reduced sugar and reduced calorie confectionery. **British Journal of Nutrition**, v. 85, n. 1, p. 31–45, 2001.

PINHEIRO, A. C. M.; NUNES, C. A.; VIETORIS, V. SensMaker: a tool for sensorial characterization of food products. *Ciênc Agrotec*, v. 37:199–201, 2013.

NUNES, C. A.; FREITAS, M. O.; PINHEIRO, A. C. M.; BASTOS, S. C. Chemoface: a novel free user-friendly interface for chemometrics. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 23, n. 11, p. 2003-2010, 2012.

**ARTIGO 2**

**AVALIAÇÃO DE AGENTES DE CORPO NOS PARÂMETROS  
REOLÓGICOS DE DOCES *DIET* DE FRUTAS DO CERRADO  
ELABORADOS COM PECTINA DE ALTO E BAIXO TEOR DE  
METOXILAÇÃO**

Este artigo será submetido à Revista Científica Food Hydrocolloids – ISSN:  
0268-005X (versão preliminar).

## RESUMO

O desenvolvimento de produtos com restrição de sacarose necessita da inclusão de muitos aditivos, a fim de compensar a sua retirada. Este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito de agentes de corpo (eritritol, sorbitol, xilitol e polidextrose) nos parâmetros reológicos e quanto ao atributo textura da análise sensorial de doces *diet* de frutas do cerrado elaborados com pectina de alto e baixo grau de metoxilação. Para as análises reológicas foram analisados três tipos de propriedades de textura (perfil de textura, teste de relaxação e compressão uniaxial), em texturômetro. Dois planejamentos (com pectina ATM e com pectina BTM) foram elaborados de doces com substituição da sacarose por 40% da mistura dos agentes de corpo (eritritol, sorbitol, xilitol e polidextrose), considerando o delineamento da Regra da Mistura em rede simplex. O efeito do eritritol foi maior para dureza, adesividade, gomosidade, módulos elásticos ( $E_e$  e  $E_1$ ), viscosidade, tensão de ruptura, módulo de elasticidade e trabalho de ruptura. Logo, o uso do eritritol possibilitou a produção de doces mais duros, quebradiços e indesejáveis quanto à avaliação sensorial, enquanto o xilitol e o sorbitol deixaram os doces mais elásticos, coesivos e mais frágeis (maiores valores de deformação de ruptura). Já a polidextrose apresentou efeito sinérgico com o eritritol para a deformação de ruptura ( $\epsilon_{rup}$ ) e menores efeitos para dureza, adesividade e gomosidade. Além disso, a formulação elaborada apenas com o eritritol como agente de corpo foi a menos aceita quanto ao atributo textura da análise sensorial, uma vez que essa formulação ficou dura e quebradiça, sendo correlacionada com a maior parte dos parâmetros reológicos, por apresentar altos valores desses parâmetros.

Palavras-chave: produtos *diet*, perfil de textura, teste de relaxação, compressão uniaxial

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil tem uma das maiores biodiversidades de frutas de todo o mundo (MATTIETTO; LOPES; MENEZES, 2010; SOUZA et al., 2012b) e o uso de polpas de frutas na elaboração de doces e geleias tem sido abordado por vários autores (MENEZES et al., 2009; MENEZES et al., 2012; MESQUITA et al., 2013; PEREIRA et al., 2013a; SOUZA et al., 2012b; SOUZA et al., 2014a; SOUZA et al., 2014b). As frutas do cerrado são pouco conhecidas e apresentam características sensoriais únicas e altas concentrações de nutrientes (CARDOSO et al., 2011; SOUZA et al., 2012a). Assim, são promitentes na elaboração de doces e geleias, podendo adquirir um grande espaço no mercado.

A consciência alimentar dos consumidores levou ao crescimento da indústria de alimentos saudáveis e à redução do teor de açúcar por substituição total ou parcial desse carboidrato (BASU et al. 2011). A sacarose é um ingrediente de extrema importância na elaboração de doces, geleias e compotas, uma vez que, além de adoçar, ela contribui para a formação dos géis e a intensificação da cor e do sabor, proporciona viscosidade e textura desejada, reduz a atividade de água e atua como conservante (LICODIEDOFF, 2008; PEREIRA et al., 2013b). Por estas razões, o desenvolvimento de produtos sem açúcar necessita da inclusão de muitos aditivos, a fim de compensar a sua retirada, tais como adoçantes, agentes de corpo, agentes gelificantes e conservantes (HRACEK; GLIEMMO; CAMPOS, 2010).

Os agentes de corpo têm a propriedade de fornecer estrutura ao produto, atuando em sua textura, além de apresentar estabilidade em diferentes condições de pH e temperatura, ausência de sabor residual e contribuir para a coloração (CAMPOS, 2000; VISSOTO; GOMES; BATISTA, 2005). Existem inúmeros agentes de corpo no mercado, entre eles os polióis e a polidextrose.

Os polióis são denominados açúcares de álcoois, têm dulçor bastante variável e baixa caloria (GOMES et al., 2007), proporcionam uma textura semelhante à da sacarose (LEGAZ; VICENTE, 2005), sua higroscopicidade varia com a umidade relativa (ZUMBÉ; LEE; STOREY, 2001) e atuam na redução da atividade de água. Dentre eles podem-se citar o sorbitol, o xilitol e o eritritol. O sorbitol apresenta cerca de 50% a 60% da doçura da sacarose (PATRA; TOMAR; ARORA, 2009), alta solubilidade (73 g/100 g a 20 °C) e, além de fornecer doçura, oferece baixo valor calórico (PATRIARCA et al., 2011), sendo utilizado, principalmente, em doces, chocolates e recheios, para evitar o ressecamento e o endurecimento (RICHTER; LANNES, 2007). O xilitol tem um poder dulçor semelhante ao da sacarose, podendo ser capaz de substituir a sacarose na proporção de 1:1. Tem ação refrescante (GOSH; SHUDA, 2012; RICHTER; LANNES, 2007), boa solubilidade (63 g/100 g, a 20 °C) e não é cariogênico (MUSSATO; ROBERTO, 2002; ZUMBÉ; LEE; STOREY, 2001). Já o eritritol apresenta cerca de 70% da doçura da sacarose, tem forte efeito refrescante, pouco higroscópico, baixa solubilidade (37 g/100 g, a 20 °C), termicamente estável, perfil de sabor semelhante ao da sacarose (SHINDO et al., 1988; RICHTER; LANNES, 2007; ZUMBÉ; LEE; STOREY, 2001) e, em concentrações acima da sua solubilidade máxima, é rapidamente cristalizável (TYAPKOVA, BEDER-MITTERMAIER; SCHWEIGGER-WEISZ, 2012). A polidextrose também é bastante utilizada como agente de corpo. Ela não tem poder edulcorante (GOMES et al., 2007) e não apresenta sabor residual, mas apresenta elevada solubilidade, baixo índice glicêmico e é higroscópica.

Os edulcorantes também são utilizados em alimentos com redução de açúcares. Geralmente, são intensos em adoçar e praticamente nulos em valor energético (RICHTER; LANNES, 2007). Por não serem metabolizados pelo organismo ou por serem utilizados em pequenas quantidades, seu valor calórico

torna-se insignificante e, assim, são considerados indispensáveis aos regimes dietéticos (VERMUNT et al., 2003).

Além dos aditivos citados acima, nestes produtos também se faz o uso de agentes gelificantes que conferem ao alimento uma textura mais firme, atuando na retenção de moléculas de água e formando soluções coloidais que proporcionam ao produto uma consistência de gel (MOREIRA; CHENLO; TORRES, 2011). Dentre os agentes gelificantes têm-se pectina, goma locusta e goma carragena. A pectina é um polissacarídeo naturalmente abundante, presente, principalmente, na parede celular de frutas e vegetais (HOLM; WENDIN; HERMANSSON, 2009), utilizada na elaboração de geleias, balas, doces, produtos lácteos e de panificação. Para produtos com alto teor de sólidos solúveis (acima de 60%), provenientes da adição de açúcar e pH em torno de 3,0, as pectinas de alto grau de metoxilação (ATM) são mais adequadas. Em contrapartida, nos produtos com reduzido teor de açúcar, a melhor opção é utilizar pectinas de baixo grau de metoxilação (BTM) que formam géis na presença de íons metálicos bivalentes, normalmente cálcio, não necessitando da presença de açúcar (BAYARRI; DURÁN; COSTELL, 2003;; HOLM; WENDIN; HERMANSSON, 2009; WILLATS; KNOX; MIKKELSEN, 2006; ZAMBIAZI; CHIM; BRUSCATTO, 2006).

A introdução dos aditivos mencionados, com a finalidade de aproximar os produtos de baixo valor calórico aos produtos convencionais (elaborados com sacarose), pode interferir negativamente em algumas propriedades dos alimentos, principalmente nos parâmetros reológicos. É importante estudar a reologia no desenvolvimento de produtos, em que há substituição total ou parcial do açúcar (ACOSTA; VÍQUEZ; CUBERO, 2008; HRACEK; GLIEMMO; CAMPOS, 2010; PEREIRA et al., 2013a) e a medição reológica é bastante vantajosa no controle da qualidade do produto (BASU et al., 2011).

Vários métodos instrumentais foram desenvolvidos para determinar as propriedades reológicas dos alimentos. A análise de perfil de textura (TPA) é um método para avaliar as propriedades sensoriais, pois simula o processo de mastigação (PEREIRA et al., 2013b), amplamente utilizado por vários autores (OLIVEIRA et al., 2009; PEREIRA et al., 2013a; PEREIRA et al., 2013b; SOUZA et al., 2014a; MENEZES et al., 2009; THRIMAWITHANA et al., 2010). O teste de relaxação é empregado para avaliar as propriedades viscoelásticas de géis (PEREIRA et al., 2013b) e o teste de compressão uniaxial utiliza uma deformação elevada que leva à ruptura do material (ISHIHARA et al., 2011, KARAMAN et al., 2011). Neste ponto, determina as propriedades que fornecem informações sobre as características do material e, assim, é possível relacionar com a textura do produto (BAYARRI, DURÁN; COSTELL, 2003; BAYARRI et al., 2007; COSTELL; PEYROLÓN; DURÁN, 2000; SATO; SANJINEZ-ARGANDOÑA; CUNHA, 2004).

Sendo assim, este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito de agentes de corpo (eritritol, sorbitol, xilitol e polidextrose) nos parâmetros reológicos e quanto ao atributo textura da análise sensorial de doces *diet* de frutas do cerrado elaborados com dois tipos de pectina – pectina de alto grau de metoxilação (ATM) e pectina de baixo grau de metoxilação (BTM).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

Foram utilizadas as polpas de graviola (*Annona muricata*), marolo (*Annona crassiflora Mart*) e maracujá-doce (*Passiflora alata Dryand*). Todas as frutas foram adquiridas em um mercado local da cidade de Lavras, MG, provenientes do CEASA de Belo Horizonte, MG.

Os ingredientes utilizados foram os seguintes: eritritol (Nutramax, Catanduva, SP), sorbitol (Nutramax, Catanduva, SP), xilitol (Nutramax, Catanduva, SP), polidextrose (Nutramax, Catanduva, SP), goma LBG 246 (Danisco, Jundiaí, SP; lote: 4702232505), goma carragena CL350H (Danisco, Jundiaí, SP; lote:1022206332), pectina de alto teor de metoxilação CF136B (Danisco, Jundiaí, SP; lote: 1202020837), pectina de baixo teor de metoxilação LA210 (Danisco, Jundiaí, SP; lote: 1822171504), sucralose (Nutramax, Catanduva, SP; lote: KH-S40-130324), acessulfame-k (Nutramax, Catanduva, SP; lote: 20121208), ácido cítrico (Gemacom Tech, Juíz de Fora, MG) e sorbato de potássio (Vetec, Duque de Caxias, RJ).

### 2.2 Preparação das polpas das frutas

As polpas de graviola, marolo e maracujá-doce foram processadas na Planta Piloto de Processamento de Produtos Vegetais, no Departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

Depois de devidamente lavadas com detergente neutro e higienizadas com hipoclorito de sódio, a  $200 \text{ mg.L}^{-1}$ , por 15 minutos, as frutas foram separadas em sementes, cascas e polpas. As polpas de marolo e graviola foram extraídas manualmente, com o auxílio de uma faca e, posteriormente,

homogeneizadas, separadamente, em liquidificador (Metvisa-LQ.10, Brusque, SC). As polpas de maracujá-doce foram homogeneizadas em liquidificador (Metvisa-LQ.10, Brusque, SC), com posterior separação das sementes por peneiramento. As polpas após homogeneização foram armazenadas em potes de polipropileno devidamente lacrados e congeladas, a -18 °C.

### 2.3 Processamento dos doces

Para a elaboração dos doces de frutas do cerrado foi seguida a metodologia proposta por Souza et al. (2012b, 2013). O processamento foi realizado no Laboratório de Processamento de Produtos Vegetais, no Departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

Na elaboração dos doces foram utilizados edulcorantes, sucralose e acessulfame-K, na proporção 3:1, que, juntos, apresentam potência adoçante de 847,45 em relação à sacarose (SOUZA et al., 2013). A porcentagem de edulcorantes utilizada foi baseada na proporção de polióis adicionados em cada formulação e seus respectivos poderes adoçantes, conforme Tabela 1.

Tabela 1 Poder dulçor dos polióis e da polidextrose em relação à sacarose

<b>Substâncias</b>	<b>Poder dulçor (%)</b>
Sacarose	100
Eritritol	75*
Sorbitol	50-60**
Xilitol	90-100**
Polidextrose	0***

\*Hu et al., (2012)

\*\*Gosh e Shuda (2012)

\*\*\*Gomes et al. (2007) e Nopianti et al. (2013)

Na Tabela 2 estão representadas as proporções dos ingredientes fixos utilizados na elaboração dos doces *diet*, definidos de acordo com os resultados de pesquisas anteriores (SOUZA et al., 2012b; SOUZA et al., 2013).

Tabela 2 Proporção dos ingredientes fixos utilizados na elaboração dos doces elaborados com frutas do cerrado

Ingredientes fixos	Concentração (Planejamento com pectina ATM)	Concentração (Planejamento com pectina BTM)
Polpa das frutas marolo/graviola/maracujá-doce	56,97%	56,97%
Pectina de alto grau de metoxilação	1,5%	-----
Pectina de baixo grau de metoxilação	-----	1,5%
Goma carragena	0,64%	0,64%
Goma locusta	0,64%	0,64%
Ácido cítrico	0,20%	0,20%
Sorbato de potássio	0,05%	0,05%

Na formulação dos doces utilizaram-se 40% da mistura dos agentes de corpo (Tabela 1) e 60% dos ingredientes fixos (Tabela 2). Os doces foram processados em tacho aberto (Macanudo, SC, Brasil), ao qual foram adicionados, primeiramente, a mistura das polpas (em proporções iguais de frutas) e os agentes de corpo (polidextrose e polióis). Quando essa mistura atingiu 45° Brix, adicionaram-se a mistura de gomas (LBG e carragena) e a pectina (ATM ou BTM), previamente dissolvidas em água, a 80 °C, sob agitação. Os edulcorantes (acesulfame-k e sucralose), o acidulante (ácido cítrico) e o conservante (sorbato de potássio) foram incorporados ao doce no final do processo de cocção (65°Brix). Após o término do processo, os doces foram envasados a quente, em potes de polipropileno fechados com tampas do

mesmo material e armazenados em refrigeradores, a  $\pm 7$  °C. Na Figura 1 observa-se o fluxograma do processamento dos doces..

Os sólidos solúveis totais foram determinados utilizando-se um modelo de refractômetro portátil RT-82 °Brix e medido a  $\pm 25$  °C.

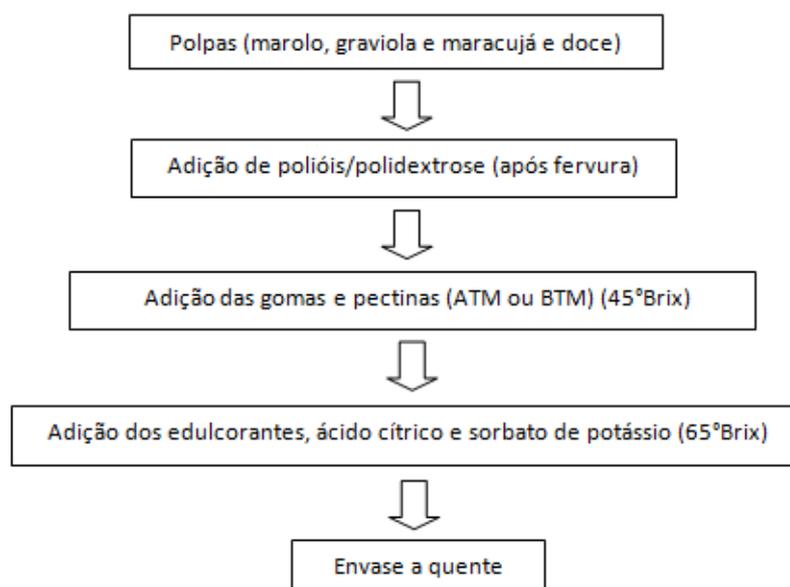


Figura 12 Fluxograma de elaboração do doce de fruta de baixo valor calórico

#### 2.4 Delineamento experimental

Neste trabalho foi estudada a substituição da sacarose por agentes de corpo na elaboração de doces e avaliados os efeitos de quatro fatores (eritritol, sorbitol, xilitol e polidextrose), considerando o planejamento em rede simplex, empregando-se o delineamento da Regra da Mistura (CORNEL, 1983).

Foram elaborados dois planejamentos, em rede simplex, com mistura de quatro componentes, totalizando treze ensaios com três pontos centrais para cada

um (Tabela 3). Foi realizado um planejamento para doces de frutas do cerrado com pectina de baixo teor de metoxilação (BTM) e outro para doces de frutas do cerrado com pectina de alto teor de metoxilação (ATM). Na Tabela 3 são especificados os valores codificados e reais dos fatores do planejamento em rede simplex.

O polinômio considerado no ajuste do modelo foi

$$y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{14} x_1 x_4 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{34} x_3 x_4 \quad (1)$$

em que  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$ ,  $\beta_4$ ,  $\beta_{12}$ ,  $\beta_{13}$ ,  $\beta_{23}$  e  $\beta_{34}$  são coeficientes de regressão para os termos lineares e não lineares (interação);  $y$  é a resposta em questão,  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  e  $x_4$  são as variáveis independentes codificadas (frações mássicas de eritritol, sorbitol, xilitol e polidextrose na mistura dos agentes de corpo, respectivamente).

Tabela 3 Planejamento experimental das misturas mostrando os níveis codificados e não codificados das variáveis empregadas no planejamento em rede simplex

Trat.	Variáveis codificadas				Variáveis reais			
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>	X <sub>1</sub> (%)	X <sub>2</sub> (%)	X <sub>3</sub> (%)	X <sub>4</sub> (%)
1	1	0	0	0	100	0	0	0
2	0	1	0	0	0	100	0	0
3	0	0	1	0	0	0	100	0
4	0	0	0	1	0	0	0	100
5	0,5	0,5	0	0	50	50	0	0
6	0,5	0	0,5	0	50	0	50	0
7	0,5	0	0	0,5	50	0	0	50
8	0	0,5	0,5	0	0	50	50	0
9	0	0,5	0	0,5	0	50	0	50
10	0	0	0,5	0,5	0	0	50	50
11	0,25	0,25	0,25	0,25	25	25	25	25
12	0,25	0,25	0,25	0,25	25	25	25	25
13	0,25	0,25	0,25	0,25	25	25	25	25

X<sub>1</sub>- porcentagem de eritritol na mistura de agentes de corpo, X<sub>2</sub>- sorbitol, X<sub>3</sub>- xilitol, X<sub>4</sub>- polidextrose

## 2.5 Perfil de textura

A análise do perfil de textura foi realizada, segundo Friedman et al. (1963), utilizando-se texturômetro TA-XT2i, e os resultados obtidos da curva força x tempo foram calculados pelo programa Texture Expert Versão 1.22 para TPA (Texture Profile Analysis). As amostras foram cortadas em forma cilíndrica (2 cm de diâmetro e 2 cm de altura) e as condições de medidas para o perfil de textura foram padronizadas em: velocidade de pré-teste de 1,0 mm/s; velocidade de teste de 1,0 mm/s; velocidade de pós-teste de 1,0 mm/s, 30% de compressão e tempo entre duas compressões de 5 segundos. No perfil de textura foram utilizadas cinco características de interesse: dureza, adesividade (adesividade é uma medida negativa, portanto, neste trabalho, na análise estatística é utilizado o

seu valor absoluto para facilitar seu entendimento), elasticidade, coesividade e gomosidade. O teste foi realizado em quintuplicata.

## 2.6 Teste de relaxação

O teste de relaxação baseia-se na aplicação de uma deformação instantânea a um corpo e na manutenção dessa deformação durante todo o período do teste (RAO, 1992). A forma como o corpo reage à tensão imposta é, então, monitorada em função do tempo (WARD; SWEENEY, 2004). No caso de alimentos, é importante que o tempo em que a deformação é aplicada seja suficientemente pequeno (na ordem de minutos, por exemplo, 10 minutos ou menos), para minimizar a ocorrência de alterações físicas (troca de umidade com o ambiente) no material (CUNHA, 2002; PELEG, 1987).

Foi utilizado o modelo de Maxwell para descrever o comportamento reológico dos doces. O modelo de Maxwell simples foi escolhido, pois apresentou melhor ajuste (maior coeficiente de variação  $R^2$ ) que o modelo de Maxwell generalizado.

O modelo de Maxwell simples envolve dois elementos simples combinados em série para representar diferentes comportamentos. Estes dois elementos são o elemento ideal elástico, que pode ser representado como uma mola e tem um comportamento definido por uma constante elástica “E”, e o elemento ideal viscoso, o qual é representado por um amortecedor de ar e tem um comportamento definido pela sua viscosidade “ $\eta$ ” (CAMPUS et al., 2010).

No modelo de Maxwell com uma deformação constante ( $\epsilon_0$ ),  $\sigma$  descreve a tensão aplicada a partir de  $\sigma_0$  por  $\sigma(t)$  após o tempo  $t$  (NOBILE et al., 2007), dada como se segue.

$$\sigma(t) = \varepsilon_0 \left( E \cdot \exp(-t/\lambda) + E_0 \right) \quad (2)$$

em que E é o módulo de elasticidade do material,  $E_0$  é o módulo de elasticidade de equilíbrio,  $\lambda$  é o tempo de relaxação dado por  $\eta / E$ .

A viscosidade do elemento i pode ser calculado de acordo com a equação 3.

$$\eta_i = E_i \lambda_i \quad (3)$$

O teste de relaxação foi realizado em texturômetro (Stable Micro Systems Modelo TA - XT2i). As amostras para a realização deste teste foram cortadas em forma cilíndrica (2 cm de diâmetro e 2 cm de altura) e comprimidas até 5,0% de deformação com uma velocidade de 1,0 mm/s e esta deformação foi mantida constante por 10,0 minutos, o que permitiu que a tensão atingisse o equilíbrio. Durante esse tempo, foi registrada a relaxação da tensão numa taxa de 1,0, medida por segundo. A probe de 7,0 cm de diâmetro foi lubrificada com óleo de silicone para reduzir o atrito entre a amostra e o equipamento, não influenciando os resultados obtidos.

Foram realizadas cinco medições para cada tratamento. Os dados experimentais do comportamento reológico dos doces foram ajustados ao modelo de Maxwell por regressão não linear no programa SAS 5.0.

## 2.7 Teste de compressão uniaxial

O teste de compressão uniaxial foi realizado em um texturômetro (Stable Micro Systems Modelo TA - XT2i), utilizando-se uma probe cilíndrica de 7,0 cm de diâmetro. As amostras foram cortadas em forma cilíndrica (2 cm de

diâmetro e 2 cm de altura) e foram comprimidas até 80% de deformação com uma velocidade de 1,0 mm/s.

Foram calculadas a tensão de ruptura ( $\sigma$ ) e a deformação de ruptura ( $\varepsilon$ ) por meio das equações 4 e 5, de acordo com Bayarri, Duran, e Costell (2003); Bayarri et al. (2007) e Pereira et al. (2013a).

$$\sigma = F \left( \frac{h_0 - \Delta h}{A_0 h_0} \right) \quad (4)$$

$$\varepsilon = \ln \left( \frac{h_0}{h_0 - \Delta h} \right) \quad (5)$$

em que F é a força aplicada na amostra,  $h_0$  é a altura inicial,  $A_0$  é a área da amostra inicial e  $\Delta h$  é a mudança na altura durante a compressão.

A partir das curvas de tensão-deformação obtidas foram determinados a tensão de ruptura ( $\sigma_{rup}$ ), a deformação de ruptura (deformação de Hencky –  $\varepsilon_{rup}$ ) e o trabalho de ruptura ( $W_{rup}$ ). O módulo da elasticidade (E) foi obtido pelo coeficiente angular da parte linear inicial da curva de tensão-deformação a 2% de deformação e o trabalho de ruptura ( $W_{rup}$ ) foi determinado pela área da curva força *versus* distância até o ponto de ruptura. Foram realizadas cinco medições para cada tratamento.

## 2.8 Análise sensorial

A análise sensorial foi realizada no Laboratório de Análise Sensorial, no Departamento de Ciência dos Alimentos, na Universidade Federal de Lavras. Foi realizado o teste de aceitação avaliando-se o atributo textura por meio de uma

escala hedônica de 9 pontos (1 = desgostei extremamente a 9 = gostei extremamente) (STONE; SIDEL,1993).

Os testes para os doces com pectina BTM e com pectina ATM foram realizados com 40 participantes (25 mulheres e 15 homens), entre alunos e funcionários da Universidade Federal de Lavras. Os dois planejamentos foram elaborados em períodos diferentes, em um intervalo de 60 dias. Os provadores foram selecionados com base em seu consumo regular de doces de frutas, geleias e conservas.

Durante a avaliação sensorial, cada provador avaliou 13 amostras de doces, ao longo de três sessões distribuídas por dois dias consecutivos. Os mesmos provadores participaram das três sessões.

Amostras de, aproximadamente, 5 g de doces (Acosta et al., 2008) foram distribuídos em copos de plástico de 50 mL (Copopras, MG, Brasil) e mantidas à temperatura de refrigeração ( $\pm 7$  °C), em uma ordem balanceada (WAKELING; MACFIE, 1995). Estas amostras foram codificadas com um número de três dígitos, extraídos de uma tabela de números aleatórios. O teste foi realizado em cabines individuais, sob uma luz branca com ventilação adequada. Para os provadores foram oferecidas as amostras de doces e água suficiente para a análise. A temperatura do laboratório foi fixada em 23 °C. Os provadores foram instruídos a provar e avaliar cada amostra, enxaguando a boca com água entre as amostras. Além disso, eles foram instruídos sobre o uso da escala hedônica.

## **2.9 Análise estatística**

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância para avaliar o ajuste do modelo selecionado (Equação 1). O critério utilizado para aceitar o modelo proposto foi dado pelo alto valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), este assumido como superior a 70%, permitindo inferir que o modelo explica

uma elevada percentagem da variabilidade total. Para isso foi utilizado o software Statistica versão 7.0 (2004).

Para correlacionar o atributo textura da análise sensorial, os consumidores, as amostras e os parâmetros reológicos, foi feito uma mapa de preferência externo, utilizando-se o software SensoMaker versão 1.7.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Perfil de textura

Na Tabela 4 são apresentados os resultados dos parâmetros do TPA e, na Tabela 5, os modelos preditores para todos os parâmetros obtidos do modelo quadrático.

Tabela 1 Parâmetros do perfil de textura (TPA) dos doces *diet* de frutas do cerrado elaborados com pectina de baixo teor de metoxilação (BTM) e com pectina de alto teor de metoxilação (ATM)

Trat.	Dureza (N)	Adesividade (N.s)	Elasticidade	Coesividade	Gomosidade (N)
<b>Pectina de baixo teor de metoxilação</b>					
1	26,86 ± 1,62	-1,53 ± 0,92	0,44 ± 0,05	0,17 ± 0,02	4,50 ± 0,52
2	5,25 ± 1,39	-0,85 ± 0,11	0,90 ± 0,02	0,59 ± 0,11	2,75 ± 0,35
3	5,94 ± 0,77	-0,80 ± 0,34	0,91 ± 0,03	0,70 ± 0,03	4,15 ± 0,41
4	2,71 ± 0,94	-0,17 ± 0,10	0,81 ± 0,16	0,55 ± 0,13	1,85 ± 0,45
5	19,90 ± 2,11	-1,06 ± 0,60	0,69 ± 0,05	0,41 ± 0,03	8,06 ± 0,40
6	6,98 ± 2,17	-0,03 ± 0,01	0,80 ± 0,06	0,58 ± 0,05	4,05 ± 1,37
7	10,54 ± 2,15	-0,26 ± 0,17	0,79 ± 0,03	0,55 ± 0,03	5,87 ± 1,35
8	4,16 ± 1,09	-0,82 ± 0,15	0,88 ± 0,03	0,67 ± 0,06	2,80 ± 0,80
9	2,50 ± 0,57	-0,35 ± 0,07	0,90 ± 0,02	0,69 ± 0,03	1,71 ± 0,35
10	4,94 ± 0,94	-0,56 ± 0,29	0,89 ± 0,07	0,57 ± 0,13	3,08 ± 0,46
11	4,33 ± 0,67	-0,63 ± 0,07	0,91 ± 0,02	0,70 ± 0,01	3,03 ± 0,43
12	7,74 ± 0,61	-1,04 ± 0,11	0,90 ± 0,01	0,64 ± 0,02	4,99 ± 0,55
13	6,60 ± 2,04	-0,91 ± 0,52	0,85 ± 0,08	0,68 ± 0,04	4,45 ± 1,24
<b>Pectina de alto teor de metoxilação</b>					
1	20,44 ± 1,63	-1,22 ± 0,79	0,52 ± 0,07	0,20 ± 0,02	4,11 ± 0,61
2	3,58 ± 0,94	-0,57 ± 0,33	0,85 ± 0,07	0,59 ± 0,10	2,17 ± 0,74
3	5,89 ± 0,86	-0,65 ± 0,05	0,90 ± 0,01	0,63 ± 0,02	3,71 ± 0,48
4	1,83 ± 0,72	-0,50 ± 0,29	0,80 ± 0,19	0,42 ± 0,15	0,84 ± 0,59
5	2,45 ± 1,00	-0,58 ± 0,54	0,79 ± 0,07	0,52 ± 0,13	1,36 ± 0,84
6	3,50 ± 1,11	-0,40 ± 0,37	0,82 ± 0,06	0,55 ± 0,08	1,89 ± 0,87
7	1,86 ± 0,89	-0,40 ± 0,40	0,79 ± 0,06	0,51 ± 0,12	1,00 ± 0,66
8	0,80 ± 0,24	-0,22 ± 0,26	0,63 ± 0,09	0,24 ± 0,07	0,18 ± 0,03
9	2,34 ± 1,43	-0,32 ± 0,44	0,87 ± 0,07	0,54 ± 0,12	1,36 ± 0,98
10	3,31 ± 0,28	-0,14 ± 0,23	0,89 ± 0,08	0,58 ± 0,14	1,57 ± 1,03
11	2,90 ± 0,53	-0,30 ± 0,31	0,86 ± 0,04	0,64 ± 0,05	1,87 ± 0,45
12	0,76 ± 0,13	-0,30 ± 0,33	0,82 ± 0,05	0,52 ± 0,02	0,42 ± 0,01
13	5,02 ± 1,80	-0,38 ± 0,40	0,87 ± 0,03	0,62 ± 0,03	3,13 ± 1,23

Média ± desvio padrão de 5 replicatas

Tabela 2 Modelos preditivos para os parâmetros do perfil de textura (TPA) dos doces *diet* de frutas do cerrado elaborados com pectina de baixo teor de metoxilação (BTM) e com pectina de alto teor de metoxilação (ATM)

Atributos	Modelo predito	R <sup>2</sup>
<b>Pectina de baixo teor de metoxilação</b>		
Dureza (N)	$Y = 27,01x_1^* + 5,40x_2^* + 6,09x_3^* + 2,86x_4 + 13,58x_1x_2 - 39,48x_1x_3^* - 18,79x_1x_4^{**} - 7,55x_2x_3 - 7,72x_2x_4 + 0,64x_3x_4$	0,9883
Adesividade (N.s)	$Y = 1,44x_1^* + 0,77x_2 + 0,72x_3 + 0,09x_4 + 0,49x_1x_2 - 3,54x_1x_3 - 1,35x_1x_4 + 0,95x_2x_3 + 0,36x_2x_4 + 1,27x_3x_4$	0,7969
Elasticidade	$Y = 0,44x_1^* + 0,89x_2^* + 0,90x_3^* + 0,80x_4^* - 0,13x_1x_2 + 0,54x_1x_3^* + 0,73x_1x_4^* - 0,03x_2x_3 + 0,26x_2x_4 + 0,20x_3x_4$	0,9852
Coesividade	$Y = 0,16x_1^* + 0,58x_2^* + 0,69x_3^* + 0,54x_4^* + 0,23x_1x_2 + 0,68x_1x_3^* + 0,89x_1x_4^* + 0,23x_2x_3 + 0,58x_2x_4^{**} - 0,11x_3x_4$	0,9758
Gomosidade (N)	$Y = 4,60x_1^* + 2,84x_2^{**} + 4,24x_3^* + 1,94x_4 + 16,61x_1x_2^* - 2,24x_1x_3 + 9,64x_1x_4 - 3,70x_2x_3 - 3,49x_2x_4 - 0,81x_3x_4$	0,9311
<b>Pectina de alto teor de metoxilação</b>		
Dureza (N)	$Y = 19,91x_1^* + 3,04x_2 + 5,36x_3 + 1,30x_4 - 31,82x_1x_2^{**} - 32,25x_1x_3^{**} - 30,70x_1x_4^{**} - 9,31x_2x_3 + 4,94x_2x_4 + 4,18x_3x_4$	0,9256
Adesividade (N.s)	$Y = 1,19x_1^* + 0,54x_2^* + 0,62x_3^* + 0,47x_4^* - 0,90x_1x_2 - 1,80x_1x_3^{**} - 1,48x_1x_4^{**} - 1,20x_2x_3 - 0,53x_2x_4 - 1,40x_3x_4^{**}$	0,9475
Elasticidade	$Y = 0,51x_1^* + 0,85x_2^* + 0,90x_3^* + 0,79x_4^* + 0,50x_1x_2^* + 0,52x_1x_3^* + 0,61x_1x_4^* - 0,93x_2x_3^* + 0,24x_2x_4 + 0,23x_3x_4$	0,9757
Coesividade	$Y = 0,19x_1^{**} + 0,58x_2^* + 0,62x_3^* + 0,41x_4^* + 0,66x_1x_2 + 0,70x_1x_3 + 0,97x_1x_4^{**} - 1,33x_2x_3^* + 0,29x_2x_4 + 0,37x_3x_4$	0,9192
Gomosidade (N)	$Y = 3,89x_1^{**} + 1,95x_2 + 3,49x_3^{***} + 0,63x_4 - 4,56x_1x_2 - 5,51x_1x_3 - 3,31x_1x_4 - 8,46x_2x_3 + 1,98x_2x_4 - 0,25x_3x_4$	0,6589

$x_1$ : fração mássica de eritritol,  $x_2$ : fração mássica de sorbitol,  $x_3$ : fração mássica de xilitol,  $x_4$ : fração mássica de polidextrose, utilizados na regra da mistura

\* significativo, a 0,05

\*\* significativo, a 0,10

O valor de dureza é a força máxima referente à primeira compressão do produto (BOURNE et al., 2002). Em relação aos resultados (Tabela 5), observou-se que, para a pectina BTM, foram significativos os efeitos lineares dos polióis (eritritol, sorbitol e xilitol) e das interações eritritol-xilitol e eritritol-polidextrose, sendo ambas antagônicas, ou seja, as misturas desses agentes de corpo diminuem a dureza. O eritritol contribuiu para aumentar a dureza dos doces mais que os demais agentes de corpo, uma vez que apresentou o maior efeito. E, para pectina ATM, observou-se efeito significativo do eritritol e das

interações eritritol-sorbitol, eritritol-xilitol e eritritol-polidextrose; assim como no experimento da pectina BTM, o eritritol foi capaz de aumentar a firmeza dos doces. O valor elevado da dureza nas regiões de elevadas concentrações do eritritol pode ser explicado pela quantidade utilizada nas formulações, acima da concentração de saturação do eritritol. Na formulação 1, em que o eritritol foi usado como único agente de corpo, foi observada, visualmente, a cristalização no doce. Nas demais formulações em que o eritritol foi usado em menores concentrações, não foi observada, visualmente, a cristalização nos doces.

Segundo Tyapkova et al. (2014), a dureza resultante do uso de eritritol é inferior, em comparação com a sacarose em géis elaborados com pectina BTM e citrato de cálcio, pois o eritritol pode competir com a pectina pelo cálcio. Além disso, estes autores associam esse fato ao menor peso molecular do eritritol (122,12 g/mol), em comparação à sacarose (342,30 g/mol). Grosso e Rao (1998) também verificaram que os géis de pectina BTM elaborados com sorbitol também são mais moles que géis de sacarose, já que o sorbitol, assim como o eritritol, compete com a pectina pelo cálcio. Grosso (1992) estudou o efeito das pectinas ATM e BTM na presença de solutos (sacarose, glicose, frutose e sorbitol) e observou que a dureza dos géis ATM é decrescente na seguinte ordem: sorbitol, sacarose e glicose igual à frutose, e, para os géis BTM, a ordem é sacarose, glicose, frutose e sorbitol. Os géis BTM elaborados com sorbitol e frutose apresentaram perda de estrutura devido à competição com a pectina pelo cálcio, indicando uma alteração na constituição. Ao contrário do esperado, neste trabalho, os géis de sorbitol com pectina BTM foram mais firmes que os géis de sorbitol com pectina ATM. Este comportamento pode estar relacionado com o uso de gomas (goma carragena e goma locusta) nas formulações dos doces elaborados com ambas as pectinas ATM e BTM. Pereira (2012) verificou que a dureza foi afetada positivamente pela pectina de baixo teor de metoxilação e pelas gomas locusta e carragena, em doces de goiaba sem açúcar, significando

que o uso dessas gomas também é capaz de fornecer uma maior firmeza aos produtos.

A adesividade é uma característica que está relacionada com a superfície (ADHIKARI et al., 2001; HUANG et al., 2007; PEREIRA et al., 2013a), uma vez que é definida como o trabalho necessário para ultrapassar as forças de atração entre a superfície do alimento e a outra superfície que está em contato com os alimentos (BOURNE, 1968; VAN VLIET, 1991). Com relação ao valor absoluto da adesividade para os doces com pectina BTM, houve influência significativa somente do eritritol, que se destacou em relação aos outros, gerando doces com maiores valores de adesividade. Para os doces com pectina ATM, o uso de polióis e polidextrose provocou efeitos significativos para os coeficientes lineares e também para as interações eritritol-xilitol, eritritol-polidextrose e xilitol-polidextrose (Tabela 5). Verificou-se, nos coeficientes lineares, que o eritritol foi o responsável por maiores valores de adesividade, seguido por xilitol, sorbitol e polidextrose. As interações significativas foram sinérgicas, indicando que, quando usados em misturas, esses aditivos são capazes de deixar os doces menos adesivos do que o predito pelo modelo linear. De acordo com os modelos, maiores valores de adesividade estão situados em regiões com maiores concentrações de eritritol para ambas as pectinas e menores valores estão situados nas regiões com misturas de polidextrose e xilitol para pectina ATM. Em geral, os doces elaborados com a pectina ATM apresentaram valores menores de adesividade que a pectina BTM (Tabela 4).

A elasticidade é uma percepção de gel na boca (HUANG et al., 2007). Esse parâmetro pode ser definido como a tendência de o material recuperar sua forma original quando uma tensão que está sendo aplicada é removida (DE RENSIS; PETENATE; VIOTTO, 2009). De acordo com Huang et al. (2007), alta elasticidade mostra que a estrutura do gel é quebrada em poucos pedaços grandes, durante a primeira compressão, porém, baixa elasticidade resulta em

um gel quebradiço que rompe em muitos pedaços pequenos. Os agentes de corpo apresentaram coeficientes lineares positivos em ambos os planejamentos (ATM e BTM), o xilitol e o sorbitol apresentaram os maiores efeitos e o eritritol, o menor efeito (Tabela 5). Quanto maiores os valores de elasticidade, maior a tendência de recuperação do material (DE RENSIS; PETENATE; VIOTTO, 2009). O uso do xilitol ou sorbitol puros é capaz de promover doces mais elásticos e o uso do eritritol puro resulta em doces menos elásticos e, portanto, mais quebradiços, para ambas as pectinas. Com relação às interações, para os doces com pectina BTM, observou-se que foram significativas e sinérgicas as interações entre eritritol-xilitol e eritritol-polidextrose, tendo esta última apresentado maior efeito positivo. Para os doces com pectina ATM foram significativas as interações sinérgicas entre eritritol-sorbitol, eritritol-xilitol e eritritol-polidextrose, e a interação antagônica entre sorbitol-xilitol, ou seja, a mistura de sorbitol e xilitol diminuiu a elasticidade dos doces em relação aos valores se o comportamento fosse linear. As interações significativas envolvendo o eritritol foram sinérgicas, ou seja, quando o eritritol é o único agente de corpo da formulação, o doce tem a menor elasticidade; porém, quando usado na mistura, favorece o aumento da elasticidade dos doces.

A coesividade é a quantidade de energia necessária para romper a estrutura interna do produto (BOURNE, 1978). Esse parâmetro representa o quanto uma amostra resiste à deformação no segundo ciclo de compressão, em comparação com o primeiro ciclo de compressão (AHMED; RAMASWAMY, 2006; PEREIRA et al., 2013b), isto é, quanto menor a coesividade, maior será a desintegração do material no primeiro ciclo de compressão (EXTRALAB, 2010, PEREIRA et al., 2013a). Além disso, a coesividade está relacionada com a propriedade que caracteriza a capacidade de engolir os alimentos, especialmente se o alimento for sólido (LUCAS et al., 2002; ISHIHARA et al., 2011). A coesividade para os doces foi influenciada positivamente pelos coeficientes

lineares dos agentes de corpo, para ambos os planejamentos, obedecendo à seguinte ordem decrescente: xilitol, sorbitol, polidextrose e eritritol e pelas interações eritritol-xilitol, eritritol-polidextrose e sorbitol-polidextrose, para pectina BTM e eritritol-polidextrose e sorbitol-polidextrose, para pectina ATM, sendo que essa última com efeito antagônico (Tabela 5). Assim como na elasticidade, o xilitol foi responsável por deixar os doces mais coesivos (Tabela 5). Menezes et al. (2009) relataram que géis com maior coesividade são maciços e facilmente rompíveis quando é degustado, enquanto géis com menores valores de coesividade, geralmente, são mais lisos e mais difíceis de serem desmanchados na boca.

A gomosidade é uma característica dos alimentos semissólidos (BOURNE, 2002; TENG; CHIN; YUSOF, 2013), uma vez que determina a força necessária para mastigar tais alimentos até a sua deglutição (BOURNE, 1978; OLIVEIRA et al., 2009), que é calculada pela multiplicação entre a dureza e a coesividade (BOURNE, 2002). Os resultados indicaram influência significativa, em ordem decrescente, do eritritol, xilitol e sorbitol, e da interação eritritol-sorbitol para pectina BTM (Tabela 5). Os modelos confirmam que maiores valores de coesividade estão concentrados em mistura de eritritol com sorbitol. Já em relação aos doces com pectina ATM, houve influência significativa somente do eritritol e xilitol, em seus coeficientes lineares, tendo o eritritol apresentado o maior efeito (Tabela 5).

### **3.2 Teste de relaxação - modelo de Maxwell**

Na Tabela 6 estão apresentadas as médias dos parâmetros do teste de relaxação de tensão do Modelo de Maxwell para os doces *diet* de frutas do cerrado. As equações para todos os parâmetros são apresentadas na Tabela 7. Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) foram altos e variaram entre 0,77 a 0,99.

Tabela 3 Parâmetros do teste de relaxação para o modelo de Maxwell dos doces *diet* de frutas do cerrado elaborados com pectina de baixo teor de metoxilação (ATM) e com pectina de baixo teor de metoxilação (BTM)

Trat.	$E_c$ (Pa)	$E_1$ (Pa)	$\lambda$ (s)	$\eta$ (Pa.s)
<b>Pectina de baixo teor de metoxilação</b>				
1	37,05 ± 6,02	70,83 ± 25,37	47,97 ± 4,29	3.428,49 ± 0,93
2	4,54 ± 0,17	3,49 ± 0,32	117,10 ± 5,47	405,19 ± 0,06
3	5,87 ± 0,25	4,15 ± 0,63	97,41 ± 6,35	402,97 ± 0,06
4	6,46 ± 0,27	4,33 ± 0,71	100,66 ± 11,56	437,56 ± 0,09
5	9,07 ± 1,17	12,19 ± 2,08	84,88 ± 4,22	1.044,20 ± 0,22
6	6,52 ± 1,31	5,23 ± 0,71	90,89 ± 6,75	483,43 ± 0,07
7	7,56 ± 1,40	6,70 ± 0,76	98,71 ± 3,71	667,74 ± 0,07
8	3,79 ± 1,46	3,48 ± 0,79	82,79 ± 9,36	284,02 ± 0,04
9	3,60 ± 0,79	2,96 ± 0,30	100,34 ± 14,39	295,62 ± 0,04
10	6,60 ± 1,02	4,11 ± 0,51	108,27 ± 5,39	445,91 ± 0,06
11	5,28 ± 0,79	3,99 ± 0,58	110,73 ± 13,20	438,98 ± 0,06
12	5,70 ± 0,89	4,35 ± 0,77	99,10 ± 8,26	430,24 ± 0,08
13	5,43 ± 0,88	3,77 ± 0,37	88,62 ± 14,20	333,68 ± 0,06
<b>Pectina de alto teor de metoxilação</b>				
1	10,48 ± 3,52	21,94 ± 6,00	56,53 ± 4,30	1.236,04 ± 0,30
2	3,92 ± 0,38	3,16 ± 0,51	101,30 ± 9,58	324,21 ± 0,20
3	4,39 ± 0,36	3,44 ± 0,35	87,51 ± 6,83	300,27 ± 0,34
4	1,64 ± 1,60	2,41 ± 1,13	82,52 ± 27,20	200,27 ± 0,30
5	3,11 ± 1,09	3,14 ± 0,80	108,30 ± 10,15	341,50 ± 0,34
6	2,70 ± 0,54	3,01 ± 0,35	100,27 ± 4,86	302,46 ± 0,31
7	3,32 ± 0,58	3,20 ± 0,80	103,54 ± 15,92	335,40 ± 0,28
8	1,90 ± 0,86	2,88 ± 0,62	106,07 ± 6,99	307,81 ± 0,24
9	2,98 ± 1,09	2,73 ± 0,47	102,94 ± 5,05	279,30 ± 0,36
10	1,68 ± 1,11	2,36 ± 0,67	96,58 ± 16,65	236,53 ± 0,33
11	4,74 ± 1,46	3,64 ± 0,55	101,49 ± 8,54	363,80 ± 0,35
12	4,61 ± 0,69	3,30 ± 0,29	94,85 ± 12,30	328,91 ± 0,00
13	4,83 ± 0,82	3,66 ± 0,27	94,70 ± 8,95	350,49 ± 0,00

Média ± desvio padrão de 5 replicatas

Tabela 4 Modelos preditos para os parâmetros do Modelo de Maxwell dos doces *diet* de frutas do cerrado elaborados com pectina de baixo teor de metoxilação (ATM) e com pectina de baixo teor de metoxilação (BTM)

Variável	Modelo preditos	R <sup>2</sup>
<b>Pectina de baixo teor de metoxilação</b>		
E <sub>c</sub> (Pa)	$Y = 36,57x_1^* + 4,06x_2 + 5,40x_3 + 5,98x_4 - 41,21x_1x_2^* - 54,07x_1x_3^* - 51,10x_1x_4^* + 0,03X_2X_3 - 1,88x_2x_4 + 7,45x_3x_4$	0,9879
E <sub>1</sub> (Pa)	$Y = 68,91x_1^* + 2,56x_2 + 3,22x_3 + 3,41x_4 - 88,74x_1x_2^* - 117,91x_1x_3^* - 112,39x_1x_4^* + 9,80x_2x_3 + 7,31x_2x_4 + 10,63x_3x_4$	0,9896
λ (s)	$Y = 47,42x_1^* + 116,55x_2^* + 98,85x_3^* + 100,11x_4^* + 16,01x_1x_2 + 79,44x_1x_3 + 104,22x_1x_4 - 91,23X_2X_3 - 27,55x_2x_4 + 43,57x_3x_4$	0,9263
η (Pa.s)	$Y = 3.399,30x_1^* + 376,00x_2^{**} + 373,78x_3^{**} + 408,37x_4^* - 3.140,27x_1x_2^* - 5.378,89x_1x_3^* - 4.710,86x_1x_4^* - 129,93x_2x_3 - 152,74x_2x_4 + 452,87x_3x_4$	0,9943
<b>Pectina de alto teor de metoxilação</b>		
E <sub>c</sub> (Pa)	$Y = 9,94x_1^* + 3,38x_2 + 3,85x_3 + 1,09x_4 - 9,82x_1x_2 - 12,43x_1x_3 - 4,43x_1x_4 - 2,50x_2x_3 + 7,32x_2x_4 + 1,20x_3x_4$	0,7671
E <sub>1</sub> (Pa)	$Y = 21,44x_1^* + 2,66x_2 + 2,94x_3 + 1,91x_4 - 31,66x_1x_2^* - 32,75x_1x_3^* - 29,90x_1x_4^* + 4,30x_2x_3 + 5,75x_2x_4 + 3,73x_3x_4$	0,9627
λ (s)	$Y = 59,19x_1^* + 103,96x_2^* + 90,17x_3^* + 85,18x_4^* + 85,58x_1x_2 + 81,05x_1x_3 + 104,10x_1x_4 + 14,68x_2x_3 + 12,14x_2x_4 + 14,28x_3x_4$	0,8302
η (Pa.s)	$Y = 1.210,98x_1^* + 299,14x_2^{**} + 275,20x_3^{**} + 175,20x_4 - 1.453,68x_1x_2^{**} - 1.561,99x_1x_3^* - 1.230,23x_1x_4^{**} + 283,08x_2x_3 + 369,06x_2x_4 + 245,88x_3x_4$	0,9616

x<sub>1</sub>: fração mássica de eritritol, x<sub>2</sub>: fração mássica de sorbitol, x<sub>3</sub>: fração mássica de xilitol, x<sub>4</sub>: fração mássica de polidextrose, utilizados na regra da mistura.

\* significativo, a 0,05

\*\*significativo, a 0,10

Os módulos elásticos são parâmetros que estão associados à rigidez do material (PELEG, 1987; RODRIGUEZ-SANDOVAL; FERNÁNDEZ-QUINTERO; CUVELIER, 2009). Com relação aos módulos de elasticidade ( $E_e$  e  $E_1$ ), para os doces elaborados com pectina BTM, observaram-se efeito significativo positivo do eritritol e efeito significativo negativo das misturas de eritritol com os demais agentes de corpo, sendo as interações antagônicas. Para os doces com pectina ATM, o módulo de elasticidade  $E_e$  apresentou efeito significativo somente do eritritol. O módulo de elasticidade  $E_1$  obteve o mesmo comportamento da variável  $E_e$  para a pectina BTM (Tabela 7). Foi possível verificar que o eritritol, desde que não usado em combinação com outro poliol, proporcionou maiores valores tanto para  $E_e$  como para  $E_1$ , deixando os doces mais rígidos. Esses dados estão em conformidade com o parâmetro dureza, descrito no item perfil de textura, uma vez que, devido à cristalização provocada pelo excesso de eritritol e também pela possível complexação com íons cálcio, no caso da pectina BTM, esse poliol também proporcionou maiores valores de dureza. Além disso, verificou-se que os doces com pectina de baixo teor de metoxilação apresentaram maiores valores de  $E_e$  e  $E_1$ , principalmente na formulação 1, elaborada com 40% de eritritol (Tabela 6). Segundo Toledo (2004), produtos que têm módulos de elasticidade baixos apresentam-se menos elástico e, portanto, mais plásticos. Esse autor associou esse comportamento plástico principalmente em produtos elaborados com sacarose, o que não é o caso deste trabalho.

O tempo de relaxação é uma relação entre o módulo elástico e a viscosidade do material, mas não dá informações sobre estas propriedades isoladamente (TOLEDO). De acordo com Herrero et al. (2004) e Campus et al. (2010), elevados valores de  $\lambda$  indicam que o produto é mais firme e também mais elástico. Por meio dos modelos matemáticos observou-se comportamento semelhante para ambos os planejamentos, em que foram significativos somente

os coeficientes lineares, todos com efeitos positivos. O sorbitol foi responsável pelo maior efeito e o eritritol pelo menor. Os valores de  $\lambda$  variaram entre 47,97s (T1) a 117,10s (T2), e 56,53s (T1) a 108,30s (T5), para pectina BTM e ATM, respectivamente (Tabela 6).

A viscosidade é uma medida da resistência do corpo à deformação que ocorre quando este corpo é submetido a uma tensão refletindo de modo inversamente proporcional na maciez do produto (FOX, 1989; DE RENSIS; PETENATE; VIOTTO, 2009). Para pectina BTM foram significativos os coeficientes lineares, em que o xilitol obteve o menor efeito, seguido por sorbitol, polidextrose e eritritol, e as interações (eritritol-xilitol, eritritol-polidextrose e eritritol-sorbitol), ou seja, todas as misturas envolvendo o poliol eritritol. Para os doces com pectina ATM, foi significativo o efeito do eritritol, sorbitol e xilitol, com maior efeito para o eritritol, e também foram significativas as interações que envolvem o eritritol, todas com efeito negativo (Tabela 7). Assim como nos módulos de elasticidade, este parâmetro foi influenciado principalmente pelo eritritol, já que este forneceu maiores valores. Logo, pode-se dizer que as amostras elaboradas com eritritol são mais duras, pois, quanto maior a resistência à deformação, menor será a maciez do produto (FOX, 1989; DE RENSIS; PETENATE; VIOTTO, 2009).

### 3.3 Teste de compressão uniaxial

Na Tabela 8 estão apresentadas as médias dos parâmetros do teste de compressão uniaxial para os doces *diet* de frutas do cerrado. As equações para o modelo ajustado dos parâmetros do teste de compressão uniaxial estão na Tabela 9. Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) variaram entre 0,66 a 0,99.

Tabela 5 Parâmetros do teste de compressão uniaxial dos doces *diet* de frutas do cerrado elaborados com pectina de baixo teor de metoxilação (BTM) e com pectina de alto teor de metoxilação (ATM)

Trat.	$\sigma_{rup}$ (kPa)	$\epsilon_{rup}$	E (kPa)	$W_{rup}$ (kJ/m <sup>2</sup> )
<b>Pectina de baixo teor de metoxilação</b>				
1	55,62 ± 4,01	0,28 ± 0,02	84,29 ± 16,79	9,06 ± 0,57
2	16,00 ± 1,93	0,55 ± 0,09	7,61 ± 1,94	4,36 ± 1,24
3	24,50 ± 3,07	0,61 ± 0,01	7,72 ± 1,96	7,21 ± 1,45
4	23,98 ± 5,27	0,50 ± 0,10	9,60 ± 2,50	3,72 ± 1,62
5	26,74 ± 3,93	0,44 ± 0,06	12,38 ± 2,52	5,90 ± 1,28
6	24,24 ± 2,09	0,45 ± 0,04	13,48 ± 1,76	4,75 ± 0,62
7	32,99 ± 6,11	0,47 ± 0,05	16,01 ± 3,37	8,68 ± 1,61
8	13,95 ± 2,17	0,46 ± 0,02	7,85 ± 2,40	2,60 ± 0,60
9	21,53 ± 1,22	0,69 ± 0,06	4,98 ± 1,23	6,15 ± 0,89
10	22,94 ± 0,74	0,50 ± 0,09	9,67 ± 0,68	4,95 ± 2,60
11	19,83 ± 6,92	0,61 ± 0,07	6,54 ± 1,33	5,14 ± 2,25
12	18,46 ± 3,82	0,42 ± 0,04	10,80 ± 0,42	4,10 ± 1,04
13	18,62 ± 4,75	0,46 ± 0,11	8,86 ± 1,44	3,98 ± 1,62
<b>Pectina de alto teor de metoxilação</b>				
1	44,24 ± 3,80	0,34 ± 0,04	45,84 ± 3,86	9,59 ± 0,86
2	22,02 ± 4,66	0,59 ± 0,06	7,60 ± 1,83	5,79 ± 0,87
3	21,04 ± 2,69	0,58 ± 0,05	8,42 ± 0,96	5,32 ± 0,87
4	2,33 ± 0,86	0,38 ± 0,06	3,85 ± 0,56	0,71 ± 0,22
5	13,89 ± 0,54	1,60 ± 0,01	4,97 ± 0,76	9,19 ± 1,76
6	9,15 ± 0,26	0,44 ± 0,08	7,27 ± 0,87	2,21 ± 0,73
7	19,41 ± 2,04	0,56 ± 0,01	7,90 ± 1,34	5,22 ± 0,08
8	4,28 ± 0,68	0,46 ± 0,18	4,69 ± 1,42	0,80 ± 0,03
9	2,27 ± 0,28	0,31 ± 0,08	4,33 ± 0,60	0,36 ± 0,16
10	4,53 ± 0,08	1,06 ± 0,64	3,23 ± 0,18	0,40 ± 0,24
11	5,23 ± 0,95	0,41 ± 0,10	7,58 ± 1,51	1,55 ± 1,34
12	6,38 ± 0,80	1,61 ± 0,00	3,78 ± 1,23	3,13 ± 0,06
13	5,71 ± 1,00	0,63 ± 0,56	7,26 ± 1,69	1,49 ± 1,02

Média±desvio padrão de 5 replicatas

Tabela 6 Modelos preditos para os parâmetros do teste de compressão uniaxial dos doces *diet* de frutas do cerrado elaborados com pectina de baixo teor de metoxilação (BTM) e com pectina de alto teor de metoxilação (ATM)

Variável	Modelo predito	R <sup>2</sup>
<b>Pectina de baixo teor de metoxilação</b>		
$\sigma_{rup}$ (kPa)	$Y = 55,88x_1^* + 16,26x_2^* + 24,76x_3^* + 24,23x_4^* - 39,43x_1x_2^* - 66,42x_1x_3^* - 30,38x_1x_4^* - 28,35x_2x_3^* + 3,02x_2x_4 - 8,33x_3x_4$	0,9966
$\varepsilon_{rup}$	$Y = 0,28x_1^* + 0,55x_2^* + 0,61x_3^* + 0,50x_4^* + 0,07x_1x_2 + 0,01x_1x_3 + 0,30x_1x_4^* - 0,51x_2x_3 + 0,63x_2x_4 - 0,23x_3x_4$	0,8321
E (kPa)	$Y = 83,27x_1^* + 6,59x_2 + 6,70x_3 + 8,58x_4 - 122,05x_1x_2^* - 117,85x_1x_3^* - 111,49x_1x_4^* + 12,97x_2x_3 - 2,57x_2x_4 + 16,28x_3x_4$	0,9885
$W_{rup}$ (kJ/m <sup>2</sup> )	$Y = 9,19x_1^* + 4,49x_2^* + 7,34x_3^* + 3,85x_4^* - 4,80x_1x_2 - 15,13x_1x_3^* + 7,57x_1x_4 - 14,31x_2x_3^* + 6,86x_2x_4 - 3,61x_3x_4$	0,9625
<b>Pectina de alto teor de metoxilação</b>		
$\sigma_{rup}$ (kPa)	$Y = 43,66x_1^* + 21,43x_2^* + 20,46x_3^* + 1,75x_4 - 69,95x_1x_2^* - 86,96x_1x_3^* - 8,52x_1x_4 - 62,02x_2x_3^* - 32,62x_2x_4^{**} - 21,62x_3x_4$	0,9898
$\varepsilon_{rup}$	$Y = 0,34x_1 + 0,59x_2 + 0,57x_3 + 0,38x_4 + 4,56x_1x_2 - 0,04x_1x_3 + 0,82x_1x_4 - 0,46x_2x_3 - 0,68x_2x_4 + 2,36x_3x_4$	0,6633
E (kPa)	$Y = 44,81x_1^* + 6,58x_2 + 7,39x_3 + 2,82x_4 - 74,72x_1x_2^* - 67,15x_1x_3^* - 55,50x_1x_4^{**} - 0,97x_2x_3 + 6,73x_2x_4 + 0,70x_3x_4$	0,9599
$W_{rup}$ (kJ/m <sup>2</sup> )	$Y = 9,56x_1^* + 5,76x_2^* + 5,30x_3^* + 0,67x_4 + 6,38x_1x_2 - 20,62x_1x_3^* + 0,64x_1x_4 - 18,65x_2x_3^* - 11,16x_2x_4 - 10,11x_3x_4$	0,9857

$x_1$ : fração mássica de eritritol,  $x_2$ : fração mássica de sorbitol,  $x_3$ : fração mássica de xilitol,  $x_4$ : fração mássica de polidextrose, utilizados na regra da mistura

\* significativo, a 0,05

\*\*significativo, a 0,10

A tensão de ruptura ( $\sigma_{rup}$ ) está relacionada com a dureza do produto (ROBIN et al., 2012), já que pode ser interpretada como a tensão necessária para romper a matriz dos alimentos (CUNHA, 2012, p. 129; PEREIRA et al., 2013a). Maiores valores de  $\sigma_{rup}$  foram encontrados nos doces elaborados com concentrações elevadas de eritritol (Tabela 8). Em ambos os planejamentos, o

eritritol apresentou o maior efeito (55,88 kPa- BTM e 43,66 kPa - ATM) (Tabela 9), indicando que o uso deste poliol aumentou a dureza e a rigidez dos doces.

Esses resultados são coerentes com os valores do parâmetro dureza do TPA e também com os módulos elásticos do Modelo de Maxwell. Notaram-se algumas diferenças ao utilizar tipos diferentes de pectina, pois, para apectina BTM, o menor efeito foi na presença de sorbitol e, para a pectina ATM na presença de xilitol, a polidextrose nessa última não apresentou efeito significativo. Já as interações significativas apresentaram efeitos negativos, mostrando que a mistura desses agentes de corpo diminuiu os valores da tensão de ruptura (Tabela 8). O uso da pectina de alto grau de metoxilação diminuiu a tensão de ruptura (Tabela 8), deixando os doces mais macios. Uma possível explicação está na diminuição nas ligações cruzadas entre as cadeias desse tipo de pectina (TYAPKOVA et al., 2014), influenciadas pela adição desses agentes de corpo e pela falta de sacarose.

Com relação à deformação de ruptura ( $\epsilon_{rup}$ ) não foi observada influência significativa dos agentes de corpo na deformação de ruptura para os doces elaborados com pectina ATM, somente para os doces elaborados com pectina BTM, nos coeficientes lineares e na interação eritritol-polidextrose (Tabela 9). O xilitol provocou o maior efeito (0,61), seguido de sorbitol (0,55), polidextrose (0,5) e eritritol (0,28). A interação eritritol-polidextrose foi significativa e sinérgica. A deformação de ruptura está relacionada com a fragilidade da textura dos alimentos (CUNHA, 2012, p. 129; FRAEYE et al., 2010, PEREIRA et al., 2013a), em razão de estar associada com a força com que o material se deforma, indicando a capacidade de alongamento deste material, ou seja, indica até que ponto o produto poder ser deformado sem se romper (ROOPA; BHATTACHARYA, 2009). Embora o eritritol tenha ocasionado maiores valores de tensão de ruptura, ele levou a menores valores de deformação de ruptura (Tabela 10). Baixos valores de  $\epsilon_{rup}$  indicam que as amostras são

quebradiças (RAVI; ROOPA; BHATTACHARYA, 2007), portanto, o eritritol proporcionou doces mais quebradiços. Materiais com altos valores de tensão de ruptura e de deformação de ruptura são mais rígidos e fortes, enquanto materiais com alta tensão de ruptura, mas com baixos valores de deformação de ruptura, são duros e quebradiços (CUNHA, 2012, p. 129; PEREIRA et al., 2013a). Diante disso, pode-se dizer que os doces elaborados com eritritol como componente puro ficaram mais duros e quebradiços.

Para o módulo de elasticidade (E) observou-se o mesmo comportamento estatístico para os dois planejamentos, apresentando efeito significativo positivo do eritritol e efeito significativo negativo das interações eritritol-sorbitol e eritritol-xilitol (Tabela 9). O efeito do eritritol foi maior para o experimento com pectina BTM (Tabela 9), o que pode ser explicado pelo fato de o módulo de elasticidade de géis aumentar com a diminuição do grau de metoxilação da pectina, indicando que pectinas com menor grau de metoxilação podem gerar géis mais duros (FRAEYE et al., 2010; WILLATS et al., 2001). O módulo de elasticidade é uma medida relacionada com as propriedades elásticas de géis e quanto maior esse parâmetro mais rígidos são os géis (FRAEYE et al., 2010).

Com relação ao trabalho de ruptura ( $W_{rup}$ ), observou-se que os agentes de corpo dos dois planejamentos também afetaram esse parâmetro; os coeficientes lineares foram significativos, com exceção da polidextrose, no experimento com pectina ATM, assim como as interações eritritol-xilitol e sorbitol-xilitol, sendo o efeito das interações negativo, ou seja, a mistura destes polióis diminui o trabalho de ruptura em relação aos valores esperados para o comportamento linear (Tabela 9).

De acordo com Foo, Liong e Easa (2013) e Roopa e Bhattacharya (2009), o trabalho de ruptura é a energia necessária para decompor a amostra. Quanto maior o valor do  $W_{rup}$ , mais difícil será romper a matriz do alimento e maior será a energia gasta. Assim como em outros parâmetros avaliados, o

eritritol foi responsável pelo maior efeito, resultado que está em conformidade com os dados da tensão de ruptura, já que produtos com altos valores de tensão requerem maior energia para serem rompidos.

### 3.4 Análise sensorial

Nas Tabelas 10 e 11 são apresentados as médias e os modelos preditos para o atributo textura, obtidos por meio da avaliação de 40 consumidores.

Tabela 7 Médias do atributo textura da análise sensorial dos doces *diet* de frutas do cerrado elaborados com pectina de baixo teor de metoxilação (BTM) e com pectina de alto teor de metoxilação (ATM)

Formulações	Atributo sensorial	
	Textura	
	Pectina BTM	Pectina ATM
1	4,43	5,03
2	7,59	6,84
3	7,35	7,47
4	6,62	6,39
5	6,05	6,24
6	6,92	6
7	6,38	6,26
8	7,14	7,45
9	6,78	7,37
10	7,05	7,05
11	7,24	7,5
12	7,08	6,58
13	7,38	7,58

Tabela 8 Modelos preditos para o atributo textura da análise sensorial das formulações de doces *diet* de frutas do cerrado elaborados com pectina de baixo teor de metoxilação e com pectina de alto teor de metoxilação

Variável	Tipo de pectina	Modelo predito	R <sup>2</sup>
Textura	BTM	$Y = 4,37x_1^* + 7,53x_2^* + 7,29x_3^* + 6,56x_4^* + 0,95x_1x_2 + 4,89x_1x_3^* + 4,19x_1x_4 - 0,57x_2x_3 - 0,51x_2x_4 + 1,05x_3x_4$	0,9685
	ATM	$Y = 4,97x_1^* + 6,79x_2^* + 7,42x_3^* + 6,34x_4^* + 1,88x_1x_2 - 0,33x_1x_3 + 2,88x_1x_4 + 1,83x_2x_3 + 3,67x_2x_4 + 1,14x_3x_4$	0,8886

$x_1$ : fração mássica de eritritol,  $x_2$ : fração mássica de sorbitol,  $x_3$ : fração mássica de xilitol,  $x_4$ : fração mássica de polidextrose, utilizados na regra da mistura

\* significativo, a 0,05

Quanto ao atributo textura, quando usado apenas um agente de corpo, o sorbitol e o xilitol tiveram maiores efeitos para ambas as pectinas, BTM e ATM, contribuindo para uma melhor aceitação sensorial, enquanto o eritritol, como componente puro, forneceu os menores efeitos, interferindo negativamente na aceitação (Tabela 11), indicando que os doces elaborados com eritritol foram rejeitados pelos consumidores.

O mapa de preferência externo (Figura 2) para ambas as pectinas mostra que, embora a formulação 1 tenha sido correlacionada com a maior parte dos parâmetros reológicos (módulo de elasticidade, dureza, adesividade, tensão de ruptura, gomosidade, trabalho de ruptura, constantes Ee e E1 e viscosidade), ela não foi aceita pelos consumidores, sugerindo que o aumento da dureza, entre outros parâmetros reológicos, diminuiu a aceitação sensorial. As formulações 5 e 7, para pectina BTM, também foram rejeitadas pelos consumidores. Dessa forma, a dureza e a rigidez proporcionadas pelo eritritol para esses doces não foram desejáveis, segundo os consumidores.

A Figura 2a não mostrou muita diferença entre as formulações 2, 3, 4, 6, 8, 9, 10 e 11. Observou-se que as formulações 5 e 7 se caracterizaram pela gomosidade e as demais formulações apresentaram comportamentos semelhantes, sendo correlacionadas com o tempo de relaxação, elasticidade, coesividade e deformação de ruptura.

Na Figura 2b, para pectina ATM, observou-se que as formulações 2, 3 e 5 foram correlacionadas com deformação de ruptura, elasticidade e coesividade, enquanto a formulação 8 não obteve correlação com nenhum parâmetro avaliado. Já as demais formulações, 4, 6, 7, 9, 10 e 11, apresentaram semelhanças quanto à aceitação para esse atributo.

Pode-se dizer, pelo mapa de preferência externo, que o tipo de pectina quase não interferiu na aceitação das amostras.

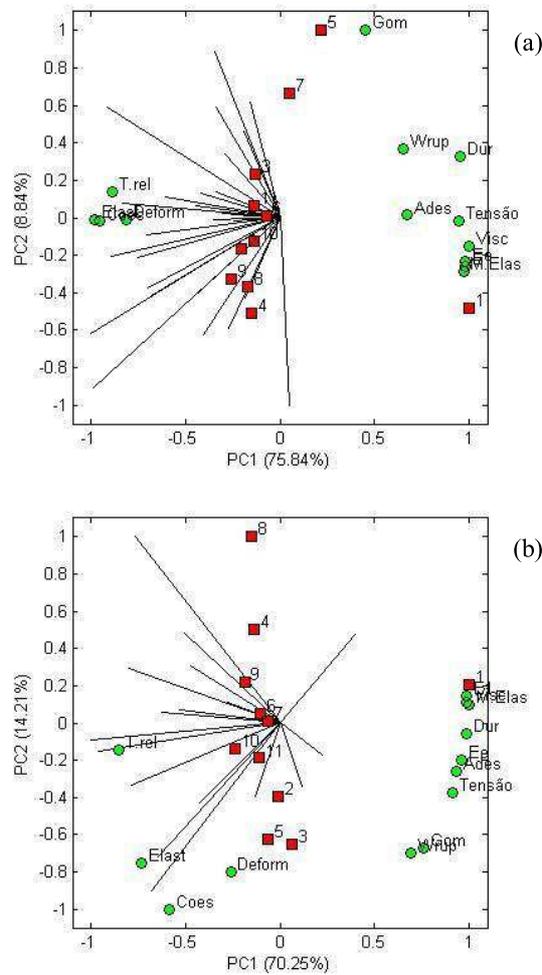


Figura 2 Mapa de preferência externo para o atributo textura da análise sensorial. a) doces elaborados com pectina BTM, (b) doces elaborados com pectina ATM. Consumidores representados por vetores, amostras por quadrados e parâmetros reológicos por círculos. Tensão: tensão de ruptura; Deform: deformação de ruptura; M.Elas: módulo de elasticidade; Wrup: trabalho de ruptura; Dur: dureza; Ades: adesividade; Elast: elasticidade; Coes: coesividade; Gom: gomosidade; Ee: módulo elástico de equilíbrio;  $E_1$ : módulo de elasticidade do corpo ideal; T.rel: tempo de relaxação; Visc: viscosidade. A formulação 11 é a média das formulações 11, 12 e 13.

#### 4 CONCLUSÃO

Os resultados indicaram que os parâmetros reológicos foram afetados pelos agentes de corpo. O efeito do eritritol foi maior para dureza, adesividade, gomosidade, módulos elásticos ( $E_e$  e  $E_l$ ), viscosidade, tensão de ruptura ( $\sigma_{rup}$ ), módulo de elasticidade ( $E$ ) e trabalho de ruptura ( $W_{rup}$ ). Portanto, o uso do eritritol possibilitou a produção de doces duros, quebradiços e indesejáveis, de acordo com a avaliação sensorial, enquanto o xilitol e o sorbitol deixaram os doces mais elásticos, coesivos e mais ducteis. Já a povidexose apresentou efeito sinérgico com o eritritol para a deformação de ruptura ( $\epsilon_{rup}$ ) e menores efeitos para dureza, adesividade e gomosidade. Além disso, foram observadas correlações entre os parâmetros reológicos, pois o tratamento em que se emprega apenas o eritritol como agente de corpo apresentou um maior número de vetores apontados em sua direção, sendo menos aceito quanto ao atributo textura da análise sensorial.

## REFERÊNCIAS

- ACOSTA, O.; VÍQUEZ, F.; CUBERO, E. Optimisation of low calorie mixed fruit jelly by response surface methodology. **Food Quality and Preference**, v. 19, p. 79–85, 2008.
- ADHIKARI, B.; HOWES, T.; BHANDARI, B. R.; TRUONG, V. Stickiness in foods: mechanisms and test methods- a review. **International Journal of Food Properties**, v. 4, n. 1, p. 1–33, 2001.
- AHMED, J.; RAMASWAMY, H. S. Physico-chemical properties of commercial date pastes ( *Phoenix dactylifera* ). **Journal of Food Engineering**, v. 76, p. 348–352, 2006.
- ARDA, E.; KARA, S. Synergistic effect of the locust bean gum on the thermal phase transitions of k -carrageenan gels. **Food Hydrocolloids**, v. 23, p. 451–459, 2009.
- BASU, S.; SHIVHARE, U. S.; SINGH, T. V.; BENIWAL, V. S. Rheological, textural and spectral characteristics of sorbitol substituted mango jam. **Journal of Food Engineering**, v. 105, n. 3, p. 503–512, 2011.
- BAYARRI, S.; DURÁN, L.; COSTELL, E. Compression resistance, sweetener's diffusion and sweetness of hydrocolloids gels. **International Dairy Journal**, v. 13, p. 643–653, 2003.
- BAYARRI, S.; RIVAS, I.; IZQUIERDO, L.; COSTELL, E. Influence of texture on the temporal perception of sweetness of gelled systems. **Food Research International**, v. 40, p. 900–908, 2007.
- BOURNE, M. C. **Food texture and viscosity: concept and measurement**. New York: Academic Press. 2002.
- BOURNE, M. C. Texture profile analysis. **Food Technology**, v. 32, p. 62–66, 1978.
- BOURNE, M. C. Texture profile of ripening pears. **Journal of Food Science**, v. 33, p. 223–226, 1968.
- CAMPO, V. M. C. Produção de doces *diet* para diabéticos. **Dossiê Técnico**. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC), 25p., 2007.

CAMPOS, M. B. Chocolates sem adição de açúcar: matérias-primas, formulações, processos de produção e análise sensorial. In: **MANUAL Técnico do Seminário Produtos Diet e Light. Campinas: [s. n.], 2000. 154 p.**

CAMPUS, M.; ADDIS, M. F.; CAPPUCINELLI, R.; et al. Stress relaxation behaviour and structural changes of muscle tissues from Gilthead Sea Bream (*Sparus aurata* L.) following high pressure treatment. **Journal of Food Engineering**, v. 96, p. 192–198, 2010.

CARDOSO, L. DE M.; MARTINO, H. S. D.; MOREIRA, A. V. B.; RIBEIRO, S. M. R.; PINHEIRO-SANT'ANA, H. M. Cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) of the Cerrado of Minas Gerais, Brazil: Physical and chemical characterization, carotenoids and vitamins. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 2151–2154, 2011.

CORNELL, J. A. Experiment with mixtures: design, models and analysis of mixtures data. New York: John Wiley. 1983.

COSTELL, E.; PEYROLÓN, M.; DURÁN, L. Note: influence of texture and type of hydrocolloid on perception of basic tastes in carrageenan and gellan gels. **Food Science and Technology International**, v. 6, n. 6, p. 495–499, 2000.

CUNHA, C. R. **Efeito do uso de retentados de baixo fator de concentração no rendimento, proteólise e propriedades viscoelásticas de queijo minas frescal de reduzido teor de gordura.** 129p. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

DE RENSIS, C. M. V. B.; PETENATE, A. J.; VIOTTO, W. H. Caracterização físico-química, reológica e sensorial de queijos tipo Prato com teor reduzido de gordura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 3, p. 488–494, 2009.

DUNSTAN, D. E.; CHEN, Y.; LIAO, M. L.; et al. Structure and rheology of the k-carrageenan/locust bean gum gels. **Food Hydrocolloids**, v. 15, p. 475–484, 2001.

EXTRALAB, B. (2010). Programa Exponent Lite Express: versão 5.0. Jarinú: TEE32.

FOO, W.-T.; LIONG, M.-T.; EASA, A. M. Textural and structural breakdown properties of selected hydrocolloid gels. **Food Research International**, v. 52, p. 401–408, 2013.

FOX, P. F. Proteolysis During Cheese Manufacture and Ripening. **Journal of Dairy Science**, v. 72, n. 6, p. 1379–1400, 1989.

FRAEYE, I.; COLLE, I.; VANDEVENNE, E.; et al. Influence of pectin structure on texture of pectin – calcium gels. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 11, p. 401–409, 2010.

GHOSH, S.; SUDHA, M. L. A review on polyols : new frontiers for health-based bakery products. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 63, n. 3, p. 372–379, 2012.

GOMES, C. R.; VISSOTTO, F. Z.; FADINI, A. L.; FARIA, E. V. DE; LUIZ, A. M. Influência de diferentes agentes de corpo nas características reológicas e sensoriais de chocolates *diet* em sacarose e *light* em calorias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 3, p. 614–623, 2007.

GROSSO, C. F. **Efeito de diferentes açúcares, pectinas e ligações de água na formação de géis pécticos**. 1992. 116p. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1992.

GROSSO, C. R. F.; RAO, M. A. Dynamic rheology of structure development in low-methoxyl pectin + Ca<sup>2+</sup> + sugar gels. **Food Hydrocolloids**, v. 12, p. 357–363, 1998.

HANGER, L. Y.; LOTZ, A.; LEPENIOTIS, S. Descriptive profiles of selected high intensity sweeteners (HIS), HIS blends, and sucrose. **Journal of Food Science**, v. 61, p. 456–464, 1996.

HERRERO, A. M.; HEIA, K.; CARECHE, M. Stress relaxation test for monitoring post mortem textural changes of ice-stored cod (*Gadus morhua* L.). **Journal of Food Science**, v. 69, n. 4, p. 0–4, 2004.

HRACEK, V. M.; GLIEMMO, M. F.; CAMPOS, C. A. Effect of steviosides and system composition on stability and antimicrobial action of sorbates in acidified model aqueous systems. **Food Research International**, v. 43, n. 8, p. 2171–2175, 2010.

HU, Y.; JIANG, X.; YANG, W.; et al. Solubility of erythritol in different aqueous solvent mixtures. **Journal of Molecular Liquids**, v. 169, p. 74–79, 2012.

HUANG, M.; KENNEDY, J. F.; LI, B.; XU, X.; XIE, B. J. Characters of rice starch gel modified by gellan , carrageenan , and glucomannan: A texture profile analysis study. **Carbohydrate Polymers**, v. 69, p. 411–418, 2007.

ISHIHARA, S.; NAKAUMA, M.; FUNAMI, T.; ODAKE, S.; NISHINARI, K. Swallowing profiles of food polysaccharide gels in relation to bolus rheology. **Food Hydrocolloids**, v. 25, n. 5, p. 1016–1024, 2011.

KARAMAN, S.; MUSTAFA, T. Y.; DOGAN, M.; YETIM, H.; KAYACIER, A. Dynamic oscillatory shear properties of O / W model system meat emulsions : Linear viscoelastic analysis for effect of temperature and oil concentration on protein network formation. **Journal of Food Engineering**, v. 107, n. 2, p. 241–252, 2011.

LEGAZ, M. E.; VICENTE, C. Sugar alcohols. **Carbohydrates**, p. 427–439, 2005.

LICODIEDOFF, S. **Influência do teor de pectinas comerciais nas características físico-químicas e sensoriais da geleia de abacaxi (*ananas comosus* (L.) Merrill)**. 2008. 118p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

LUCAS, P. W.; PRINZ, J. F.; AGRAWAL, K. R.; BRUCE, I. C. Food physics and oral physiology. **Food Quality and Preference**, v. 13, p. 203–213, 2002.

MENEZES, C. C.; BORGES, S. V.; CIRILLO, M. Â.; FERRUA, F. Q.; OLIVEIRA, L. F.; MESQUITA, K. S.. Caracterização física e físico-química de diferentes formulações de doce de goiaba (*Psidium guajava* L.) da cultivar Pedro Sato. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 3, p. 618–625, 2009.

MENEZES, C. C.; CARNEIRO, J. D. S., BORGES, S. V.; SILVA, V. S. N.; BRIGAGÃO, M.R. P. L.; AZEVEDO, L. Development of low-calorie guava preserves with prebiotics and evaluation of their effects on carcinogenesis biomarkers in rats. **Food and Chemical Toxicology**, v. 50, p. 3719–3724, 2012.

MESQUITA, K. S.; BORGES, S. V.; CARNEIRO, J. DE D. S.; MENEZES, C. C.; MARQUES, G. R. Quality alterations during storage of sugar-free guava jam with added prebiotics. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 37, p. 806–813, 2013.

MOREIRA, R.; CHENLO, F.; TORRES, M. D. Rheology of commercial chestnut flour doughs incorporated with gelling agents. **Food Hydrocolloids**, v. 25, p. 1361–1371, 2011.

MUSSATTO, S. I.; ROBERTO, I. C. Xilitol : Edulcorante com efeitos benéficos para a saúde humana. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 38, n. 4, p. 401–413, 2002.

NOBILE, M. A. DEL; CHILLO, S.; METANA, A.; BAIANO, A. Use of the generalized Maxwell model for describing the stress relaxation behavior of solid-like foods. **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 978–983, 2007.

NOPIANTI, R.; HUDA, N.; ISMAIL, N.; ARIFFIN, F.; EASA, A. M. Effect of polydextrose on physicochemical properties of threadfin bream (*Nemipterus spp*) surimi during frozen storage. **Journal of Food Science and Technology**, v. 50, n. 4, p. 739–46, 2013.

OLIVEIRA, L. F.; BORGES, S. V; NASCIMENTO, J.; et al. Utilização de casca de banana na fabricação de doces de banana em massa - Avaliação da qualidade. **Alimentos e Nutrição**, v. 20, n. 4, p. 581–589, 2009.

PACK, A. Use of acesulfame K in *light* and sugar-free baked goods. **Cereal Foods World**, v. 39, n. 10, p. 743–745, 1994.

PARAMITA, D.; SA, B.; MAITI, S. CARBOXYMETHYL ETHERS OF LOCUST BEAN GUM A REVIEW. **International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences**, v. 3, n. 2, p. 4–7, 2011.

PATRA, F.; TOMAR, S. K.; ARORA, S. Technological and functional applications of low-calorie sweeteners from lactic acid bacteria. **Journal of Food Science**, v. 74, n. 1, p. 16–23, 2009.

PATRIARCA, A.; LARUMBE, G.; BUERA, M. P.; VAAMONDE, G. Stimulating effect of sorbitol and xylitol on germination and growth of some xerophilic fungi. **Food Microbiology**, v. 28, n. 8, p. 1463–1467, 2011.

PECK, A. Use of acesulfame K in *light* and sugar-free baked goods. **Cereal Foods World**, v.39, n.10, p.743- 745, 1994

PELEG, M. The basics of solid foods rheology. In: MOSKOWITZ, H. R. (Ed.). **Food texture: instrumental and sensory measurement**. New York: M. Dekker, 1987. p. 3-33.

PEREIRA, P. A. P. **Efeito dos aditivos nas propriedades reológicas e sensoriais de goiabadas funcionais sem adição de açúcar**. 2012. 243p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

PEREIRA, P. A. P.; SOUZA, V. R. DE; TEIXEIRA, T. R.; et al. Rheological behavior of functional sugar-free guava preserves : Effect of the addition of salts. **Food Hydrocolloids**, v. 31, p. 404–412, 2013.

PEREIRA, P. A. P.; SOUZA, V. R.; CARNEIRO, J. D. S.; et al. Physical and physicochemical evaluation of different brands of traditional, low calorie and sugar-free guava preserves. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 30, n. 03, p. 531–540, 2013.

PINHEIRO, A. C. M.; NUNES, C. A.; VIETORIS, V. SensoMaker: a tool for sensorial characterization of food products. **Cienc Agrotec**, v. 37, p. 199–201, 2013

PRAJAPATI, V. D.; JANI, G. K.; MORADIYA, N. G.; RANDERIA, N. P.; NAGAR, B. J. Locust bean gum : A versatile biopolymer. **Carbohydrate Polymers**, v. 94, n. 2, p. 814–821, 2013.

RAO, V. N. M. Classification description and measurement of viscoelastic properties of solid foods. In: ROA, M. A.; STEFFE, J. F. (Ed.). *Viscoelastic properties of solid foods*. London: Elsevier Applied Science, 1992. Cap.1, p. 3-47.

RAVI, R.; ROOPA, B. S.; BHATTACHARYA, S. Texture evaluation by uniaxial compression of some snack foods. **Journal of Texture Studies**, v. 38, p. 135–152, 2007.

RICHTER, M.; LANNES, S. C. DA S. Ingredientes usados na indústria de chocolates. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 43, n. 3, p. 357–369, 2007.

ROBIN, F.; DUBOIS, C.; PINEAU, N.; et al. Process , structure and texture of extruded whole wheat. **Journal of Cereal Science**, v. 56, p. 358–366, 2012.

RODRÍGUEZ-SANDOVAL, E.; FERNÁNDEZ-QUINTERO, A.; CUVELIER, G. Stress relaxation of reconstituted cassava dough. **LWT - Food Science and Technology**, v. 42, p. 202–206, 2009.

ROOPA, B. S.; BHATTACHARYA, S. Alginate gels : Rupture characteristics as a function of the conditions of gel formation. **Journal of Food Engineering**, v. 91, n. 3, p. 448–454, 2009.

SATO, A. C. K.; SANJINEZ-AGANDOÑA, E. J.; CUNHA, R. L. Avaliação das propriedades físicas, químicas e sensorial de preferência de goiabas em calda industrializadas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 4, p. 550–555, 2004.

SHINDO, T.; SASAKI, Y.; MIKI, H.; EGUCHI, T.; HAGIWARA, K.; ICHIKAWA, T. Determination of erythritol in fermented foods by high performance liquid chromatography. **Journal of the Food Hygienic Society of Japan**, v. 29, p. 419-422, 1988.

SOUZA, V. R. DE; PEREIRA, P. A. P.; PINHEIRO, A. C. M.; LIMA, L. C. DE O.; et al. Analysis of the subtropical blackberry cultivar potential in jelly processing. **Journal of Food Science**, v. 79, n. 9, p. 1776–1781, 2014a.

SOUZA, V. R. DE; PEREIRA, P. A. P.; PINHEIRO, A. C. M.; NUNES, C. A.; et al. Evaluation of the jelly processing potential of raspberries adapted in Brazil. **Journal of Food Science**, v. 79, n. 3, p. 407–412, 2014b.

SOUZA, V. R. DE; PEREIRA, P. A. P.; QUEIROZ, F.; BORGES, S. V.; CARNEIRO, J. DE D. S. Determination of bioactive compounds , antioxidant activity and chemical composition of Cerrado Brazilian fruits. **Food Chemistry**, v. 134, n. 1, p. 381–386, 2012a.

SOUZA, VANESA RIOS DE, PEREIRA, P. A. P.; PINHEIRO, ANA CARLA MARQUES, NUNES, C. A.; SILVA, T. L. T. DA; BORGES, S. V.; QUEIROZ, F. Multivariate approaches for optimization of the acceptance : optimization of a brazilian cerrado fruit jam using mixture design and parallel factor analysis. **Journal of Sensory Studies**, v. 27, p. 417–424, 2012b.

SPAGNUOLO, P. A.; DALGLEISH, D. G.; GOFF, H. D.; MORRIS, E. R. Kappa-carrageenan interactions in systems containing casein micelles and polysaccharide stabilizers. **Food Hydrocolloids**, v. 19, p. 371–377, 2005.

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

STONE, H. S.; SIDEL, J. L. (1993). *Sensory Evaluation Practices*, Academic Press, San Diego, CA. 1993.

TENG, L. Y.; CHIN, N. L.; YUSOF, Y. A. Rheological and textural studies of fresh and freeze-thawed native sago starch sugar gels. II. Comparisons with other starch sources and reheating effects. **Food Hydrocolloids**, v. 31, n. 2, p. 156–165, 2013.

THRIMAWITHANA, T. R.; YOUNG, S.; DUNSTAN, D. E.; ALANY, R. G. Texture and rheological characterization of kappa and iota carrageenan in the presence of counter ions. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 82, p. 69–77, 2010.

TOLEDO, P. F. **Propriedades Reológicas de Doce de Banana**. 2004. 87 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

TYAPKOVA, O.; BADER-MITTERMAIER, S.; SCHWEIGGERT-WEISZ, U. Factors influencing crystallization of erythritol in aqueous solutions: a preliminary study. **Journal of Food Research**, v. 1, n. 4, p. 207–217, 2012..

TYAPKOVA, O.; BADER-MITTERMAIER, S.; SCHWEIGGERT-WEISZ, U.; et al. Characterisation of flavour-texture interactions in sugar-free and sugar-containing pectin gels. **Food Research International**, v. 55, p. 336–346, 2014.

VAN DE VELDE, F. Structure and function of hybrid carrageenans. **Food Hydrocolloids**, v. 22, p. 727–734, 2008.

VAN VLIET, T. Terminology to be used in cheese rheology. **International Dairy Federation Bulletin**, n. 268, p. 5–15, 1991.

VERMUNT, S. H. F.; PASMEN, W. J.; SCHAAFSMA, G.; KARDINAAL, A. F. M. Effects of sugar intake on body weight: a review. **Obesity Reviews**, v. 4, n. 2, p. 91–99, 2003.

VISSOTTO, F. Z.; GOMES, C. R.; BATISTA, B. J. L. Caracterização do comportamento reológico e da textura de chocolates sem sacarose. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 8, n. 2, p. 107–111, 2005.

WAKELING, I. N.; MACFIE, H. J. H. (1995). Designing consumer trials balanced for first and higher orders of carry-over effect when only a subset of k samples from t may be tested. *Food Quality and Preference*, 6, 299-308.1995.

WARD, I.M.; SWEENEY.J. **The Mechanical Properties of Solid Polymers**. UK: John Wiley e Sons, Ltd., 2004. 382p.

WIET, S. G.; MILLER, G. A. Does chemical modification of tastants merely enhance their intrinsic taste qualities? **Food Chemistry**, v. 58, n. 4, p. 305–311, 1997.

WILLATS, W. G. .; KNOX, J. P.; MIKKELSEN, J. D. Pectin: new insights into an old polymer are starting to gel. **Trends in Food Science & Technology**, v. 17, n. 3, p. 97–104, 2006.

WILLATS, W. G. T.; ORFILA, C.; LIMBERG, G.; et al. Modulation of the degree and pattern of methyl-esterification of pectic homogalacturonan in plant cell walls - Implications for pectin methyl esterase action , matrix properties , and cell adhesion. **Journal of Biological Chemistry**, v. 276, n. 22, p. 19404–19413, 2001.

ZAMBLAZI, R. C.; CHIM, J. F.; BRUSCATTO, M. Avaliação das características e estabilidade de geleias *light* de morango. **Alimentos e Nutrição**, v. 17, n. 2, p. 165–170, 2006.

ZHAO, L.; TEPPER, B. J. Perception and acceptance of selected high-intensity sweeteners and blends in model soft drinks by propylthiouracil (PROP) non-tasters and super-tasters. **Food Quality and Preference**, v. 18, p. 531–540, 2007.

ZUMBÉ, A.; LEE, A.; STOREY, D. Polyols in confectionery : the route to sugar-free , reduced sugar and reduced calorie confectionery. **British Journal of Nutrition**, v. 85, n. 1, p. 31–45, 2001.