



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
ENG07053 - TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO EM ENGENHARIA
QUÍMICA



Análise reológica e estabilidade de sobremesa à base de soja e polpa de banana

Autor: Juliano Cardoso Lapolli

Orientador: Nilo Sérgio Medeiros Cardozo

Co-Orientadora: Jordana Corralo Spada

Porto Alegre, junho de 2012

Sumário

SUMÁRIO	II
RESUMO	V
LISTA DE FIGURAS	VI
LISTA DE SÍMBOLOS	VIII
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	X
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1 REOLOGIA DE ALIMENTOS.....	2
2.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE ALIMENTOS	6
2.2.1 <i>Água e Alimentos</i>	6
2.2.2 <i>pH</i>	7
2.2.3 <i>Sólidos Solúveis</i>	7
2.2.4 <i>Microscopia Ótica</i>	8
2.3 INGREDIENTES DA SOBREMESA	8
2.3.1 <i>Extrato de Soja</i>	8
2.3.2 <i>Gomas Alimentares</i>	9
2.3.3 <i>Banana</i>	10
3 MATERIAIS E MÉTODOS	13
3.1 MATÉRIA-PRIMA E LOCAL DE EXECUÇÃO	13
3.2 PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA FRUTA E POLPA	13
3.2.1 <i>Grau de Maturação</i>	13
3.2.2 <i>Preparação e Branqueamento das Polpas</i>	14
3.2.3 <i>Sólidos Solúveis e pH da Polpa</i>	14
3.2.4 <i>Análise do Grau de Escurecimento</i>	14
3.2.5 <i>Umidade da Polpa</i>	14
3.3 SOBREMESA.....	15
3.3.1 <i>Formulação</i>	15
3.3.2 <i>Preparação</i>	15
3.4 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DA SOBREMESA	16
3.4.1 <i>Sólidos Solúveis e pH</i>	17
3.4.2 <i>Índice de Sedimentação</i>	17
3.4.3 <i>Capacidade de Retenção de Água</i>	17
3.4.4 <i>Microscopia Ótica</i>	17
3.4.5 <i>Reometria</i>	17
3.4.6 <i>Testes Reológicos Dinâmicos</i>	18
3.4.7 <i>Testes Reológicos Estacionários</i>	18
3.4.8 <i>Modelos Aplicados</i>	18
3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	18
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA FRUTA E POLPA	20
4.1.1 <i>Grau de Maturação da Fruta</i>	20
4.1.2 <i>Caracterização Físico-Química da Polpa</i>	20

4.2	ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DA SOBREMESA	21
4.2.1	<i>Sólidos Solúveis e pH</i>	21
4.2.2	<i>Índice de Sedimentação</i>	22
4.2.3	<i>Capacidade de Retenção de Água</i>	22
4.2.4	<i>Microscopia Ótica</i>	22
4.3	ANÁLISES REOLÓGICAS DA SOBREMESA	23
4.3.1	<i>Testes Reológicos Dinâmicos</i>	23
4.3.2	<i>Testes Reológicos Estacionários</i>	28
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	31
6	REFERÊNCIAS	32

Agradecimentos

Aos meus pais, Aldo e Rosa, por todo carinho, amor e apoio que a mim dedicaram em todos os momentos. Agradeço-os pela minha formação pessoal e pelo caráter, qualidade primordial em minha educação.

Ao meu irmão Ângelo, pelo companheirismo e por tantos momentos de felicidade proporcionados.

À minha namorada, Carolina, pelo encorajamento a todo instante e pelo afeto, atenção e amor nos períodos mais difíceis.

Aos meus amigos, pela confiança de saber que estarão sempre ao meu lado quando for preciso.

Aos meus colegas, por todos esses anos compartilhando um objetivo em comum com cooperação e determinação.

Ao orientador desse trabalho, Nilo, pelo conhecimento transmitido durante toda a graduação e a orientação nos momentos de dúvidas e definições.

À co-orientadora desse trabalho, Jordana, pelos ensinamentos, pela paciência e auxílio nas tarefas diárias.

À UFRGS, instituição de ensino de notável qualidade, que proporcionou a estrutura necessária para a minha formação.

Resumo

A elaboração de sobremesas à base de soja, sem lactose, ainda corresponde a um mercado pouco explorado pelas indústrias, apesar do grande número de pessoas intolerantes à lactose. Além disso, a literatura científica é escassa quanto à quantidade de informações a respeito desse tipo de alimento. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo estudar o efeito da adição de diferentes concentrações de polpa de banana em sobremesas à base de soja, e avaliá-las em relação ao pH, °Brix, capacidade de retenção de água, índice de sedimentação, morfologia e reologia. Foram desenvolvidas e processadas quatro formulações de sobremesas com diferentes concentrações de polpa, 0% (controle), 5%, 10% e 15% (0p, 5p, 10p e 15p). A banana utilizada também foi caracterizada a partir de testes de grau de maturação, pH, sólidos solúveis totais e umidade. Além disso, a polpa foi branqueada por diferentes tratamentos: térmico e por imersão em solução ácida contendo ácido etilenodiaminotetracético (EDTA). Os resultados mostraram que os valores de pH, conteúdo de sólidos solúveis e umidade da fruta estavam dentro da faixa de valores encontrados em outras variedades. Quanto aos tratamentos de branqueamento, apenas o de imersão em solução com EDTA foi satisfatório. A sobremesa apresentou redução de pH e elevação do conteúdo de sólidos solúveis com o acréscimo de polpa na formulação. A capacidade de retenção de água diminuiu com a concentração de banana até o valor de 10%. Não houve sedimentação visível. Logo, as formulações não foram diferenciadas quanto a esse parâmetro. Através da microscopia ótica, pode-se concluir que as amostras apresentaram diferenças morfológicas, visto que, com a adição de polpa, elas apresentaram, claramente, uma estrutura mais dispersa no meio. Os testes reológicos estacionários comprovaram a pseudoplasticidade dos sistemas avaliados, assim como a diminuição da viscosidade com o aumento de temperatura. Os testes reológicos dinâmicos permitiram uma avaliação preliminar do comportamento viscoelástico das formulações, indicando comportamento típico de solução concentrada para as amostras 0p, 5p e 10p, e de gel fraco para a amostra 15p. Assim, foi possível, a partir dos métodos utilizados, obter informações de estabilidade e reologia da sobremesa. Ficou evidenciado que a adição de polpa afeta significativamente as características da sobremesa, porém, para avaliar qual a formulação mais apropriada, devem ser feitas melhorias no branqueamento da fruta, assim como na formulação.

Lista de Figuras

Figura 1. Tensão versus taxa de deformação, fluido newtoniano.	3
Figura 2. Tensão e viscosidade versus taxa de deformação em fluido pseudoplástico.	4
Figura 3. Curvas de tensão e deformação para teste oscilatório.	5
Figura 4. Geometrias para diferentes reômetros.	6
Figura 5. Unidade repetitiva da goma CMC.	10
Figura 6. Diferentes unidades repetitivas para variedades de goma carragena.	10
Figura 7. Escala de coloração e grau de maturação de Von Loesecke para bananas.	11
Figura 8. Bananas utilizadas nos experimentos.	13
Figura 9. Fotomicrografias das amostras de sobremesa com concentrações de polpa de 0 % (0p), 5% (5p), 10% (10p) e 15% (15p) com aumento de 100x.	23
Figura 10. Varredura de deformação (0,5 % a 30 %; 10 rad.s ⁻¹) para amostra 0p.	24
Figura 11. Varredura de tempo por 25 min para amostra 0p (10 rad.s ⁻¹ , 15 %).	24
Figura 12. Gráfico de varredura de frequência (1 rad.s ⁻¹ a 500 rad.s ⁻¹ ; 15 %) para a amostra 0p.	25
Figura 13. Gráfico de varredura de frequência (1 rad.s ⁻¹ a 500 rad.s ⁻¹ ; 15 %) para a amostra 5p.	25
Figura 14. Gráfico de varredura de frequência (1 rad.s ⁻¹ a 500 rad.s ⁻¹ ; 15 %) para a amostra 10p.	26
Figura 15. Gráfico de varredura de frequência (1 rad.s ⁻¹ a 500 rad.s ⁻¹ ; 15 %) para a amostra 15p.	26
Figura 16. Módulo elástico (0p, 5p, 10p, 15p) em varredura de tempo (8 min, 1 rad.s ⁻¹ , 15 %).	27
Figura 17. Comparação do G' das amostras em varredura de frequência (1 rad.s ⁻¹ a 500 rad.s ⁻¹ ; 15 %).	27
Figura 18. Comparação do G'' das amostras em varredura de frequência (1 rad.s ⁻¹ a 500 rad.s ⁻¹ ; 15 %).	28
Figura 19. Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para amostras 0p e 10p a 25 °C, 40 °C e 60 °C.	28
Figura 20. Gráfico da taxa de deformação para as amostras 0p e 10p a 25 °C, 40 °C e 60 °C.	29

Lista de Tabelas

Tabela 1. Formulação da sobremesa (100 g)	16
Tabela 2. Relação água / polpa para as sobremesas 0p, 5p, 10p e 15p.	16
Tabela 4. Propriedades físicas das polpas de banana.....	20
Tabela 5. Sólidos solúveis e pHs de diferentes variedades de banana.....	20
Tabela 6. Sólidos solúveis e pH para as sobremesas (0p, 5p, 10p e 15p).	21
Tabela 7. Comparação (Tukey) de capacidade de retenção de água das sobremesas.	22

Lista de Símbolos

τ'_0	Tensão Mínima de Escoamento (Pa)
τ'_i	Amplitude de Tensão Cisalhante (Pa)
τ'	Tensão de Cisalhamento (Pa)
$CRA_{\%}$	Capacidade Percentual de retenção de Água (%)
$IS_{\%}$	Índice Percentual de Sedimentação (%)
G^*	Módulo Complexo (Pa)
G'	Módulo Elástico (Pa)
G''	Módulo Viscoso (Pa)
M_S	Massa Final de Amostra (Teste de Umidade) (g)
M	Massa Inicial de Amostra (Teste de Umidade) (g)
P_T	Massa Inicial de Amostra (Teste de Capacidade de Retenção de Água) (g)
S_E	Massa Final de Amostra (Teste de Capacidade de Retenção de Água) (g)
V_A	Volume Total da Amostra (L)
V_S	Volume de Sedimento (L)
X_W	Teor Percentual de Umidade (%)
$\dot{\gamma}$	Taxa de Deformação (s^{-1})
γ_i	Amplitude de Deformação
μ	Viscosidade Newtoniana (Pa.s)
η^*	Viscosidade Complexa (Pa.s)
η	Viscosidade Aparente (Pa.s)
K	Índice de Consistência ($Pa \cdot s^{n1}$)
f	Frequência (s^{-1})
t	Tempo (s)
w	Frequência Angular (rad/s)
δ	Ângulo de Fase (rad)
γ	Deformação

π	Relação entre Perímetro e Diâmetro de uma Circunferência
i	Número Complexo, Raiz Quadrada do Negativo da Unidade
%	Porcentagem
R	Índice de determinação
$\cos(x)$	Cosseno
$\text{sen}(x)$	Seno
n_1	Índice de Comportamento de Fluxo
°Brix	Teor de Sólidos Solúveis Totais
°C	Grau Celsius
g	Gramas
L	Litro
μL	Microlitros
h	Horas
min	Minutos
s	Segundos
cm	Centímetros
mm	Milímetros
nm	Nanômetros
Pa	Pascoal
rad	Radianos

Lista de Abreviaturas e Siglas

AOAC	Association of Official Analytical Chemists
CMC	Carboximetilcelulose
CRA	Capacidade de Retenção de Água
DEQUI	Departamento de Engenharia Química
EDTA	Ácido Etilenodiaminotetracético
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	<i>Food and Agricultural Organization of the United Nations</i>
LACIP	Laboratório de Controle e Integração de Processos
LASEM	Laboratório de Separação por Membranas
LATEP	Laboratório de Tecnologia e Processamento de Polímeros
LATEPA	Laboratório de Tecnologia e Processamento de Alimentos
LATEQ	Laboratório de Tecnologia em Engenharia Química
LATOR	Laboratório de Tecnologia Orgânica
pH	Potencial Hidrogeniônico
RPM	Rotações por Minuto
RVL	Região de Viscoelasticidade Linear
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul

1 Introdução

Existe, atualmente, uma riqueza de dados a respeito de características físico químicas e reológicas de matérias-primas alimentares, como polpas de frutas. Entretanto, a literatura é escassa quando se trata de produtos que possuem frutas em sua formulação. O conhecimento de certos parâmetros físico-químicos e reológicos de um alimento é capaz de proporcionar informações valiosas, não só durante o processamento do mesmo, mas também para a definição de sua vida útil. Ademais, esses parâmetros estão relacionados com a percepção sensorial e aceitação do alimento pelo consumidor.

Neste contexto, pretende-se elaborar e analisar as características reológicas de uma sobremesa, assim como avaliar aspectos relacionados à sua estabilidade.

A sobremesa a ser formulada levará extrato de soja e polpa de banana em sua formulação, duas matérias-primas de boa qualidade nutricional, disponíveis em grande quantidade no mercado brasileiro. Cabe ressaltar que a soja é uma fonte de proteínas com alta digestibilidade e de baixo custo. Com o intuito de avaliar a influência da polpa nas características do produto final, diferentes concentrações da mesma foram utilizadas nas formulações.

A montagem estrutural do trabalho divide-se em cinco capítulos. No Capítulo 2, são apresentadas revisões sobre os componentes da sobremesa, análises físico-químicas e fundamentos de reologia. O capítulo subsequente mostra os materiais para formulação da sobremesa e os métodos de análises utilizados. Por fim, o Capítulo 4 apresenta os resultados e discussões e o Capítulo 5 apresenta as conclusões e as sugestões para trabalhos futuros.

2 Revisão Bibliográfica

Neste capítulo serão revisados conceitos importantes sobre a formulação, caracterização físico-química e caracterização reológica da sobremesa preparada nesse trabalho. O primeiro assunto abordado são as análises reológicas na Seção 2.1. A caracterização físico-química é tratada na Seção 2.2 com as subdivisões: água e alimentos, pH, umidade, sólidos solúveis e microscopia ótica. O último assunto tratado nesse capítulo, seção 2.3, é a formulação da sobremesa com aprofundamento teórico nas seguintes áreas: extrato de soja, banana e gomas alimentares.

2.1 Reologia de Alimentos

A utilidade da reologia no âmbito alimentar é ampla, sendo que ela impõe sua presença em diversas áreas de estudo de engenharia como desenvolvimento de produto, otimização de processos e ciência dos materiais. O desenvolvimento é amparado pelo histórico das tecnologias de processamento e também na distinção das propriedades reológicas. Na otimização de processo, a reologia é usada como instrumento para o encontro do ponto ótimo de produção levando em conta os aspectos do caso em estudo. A aplicação de modelos reológicos preocupa-se em encontrar equações para elucidar a complexidade de sistemas alimentares, fluxos e fazer simulações de diferentes composições (Fischer e Windhab, 2011).

Fluidos deformam continuamente e irreversivelmente sob ação de uma força que, distribuída sob uma área, gera uma tensão. Forças paralelas à área onde estão atuando são chamadas de tensões de cisalhamento (τ'). A deformação de um fluido, chamada também de deformação plástica, é tratada como uma taxa e é nomeada de taxa de deformação, $\dot{\gamma}$ (s^{-1}). O módulo de proporcionalidade entre tensão e taxa de deformação plástica é a viscosidade aparente, η (Pa.s). Essas relações são mostradas na Equação 1. (Daubert e Foegeding, 1998).

$$\tau' = \eta \dot{\gamma} \quad (1)$$

O fluido newtoniano, ou fluido ideal, tem um módulo de proporcionalidade constante em uma temperatura fixa. O módulo de proporcionalidade desse tipo de fluido é conhecido como viscosidade newtoniana (μ). A viscosidade, aparente ou newtoniana, nada mais é do que a resistência intrínseca do fluido ao escoamento, quanto maior o seu valor, mais tensão deve ser despendida para alcançar certa deformação. A Figura 1 mostra um gráfico de tensão por deformação para um fluido newtoniano (Schramm, 2000; Daubert e Foegeding, 1998).

Na maioria dos fluidos, no entanto, a viscosidade não é constante fixando-se a temperatura de trabalho, mas varia de acordo com diversos parâmetros. Fluidos com viscosidades variáveis são chamados de não newtonianos. Entre os parâmetros que influenciam na viscosidade podem ser citados a taxa de deformação e o tempo (Schramm, 2000).

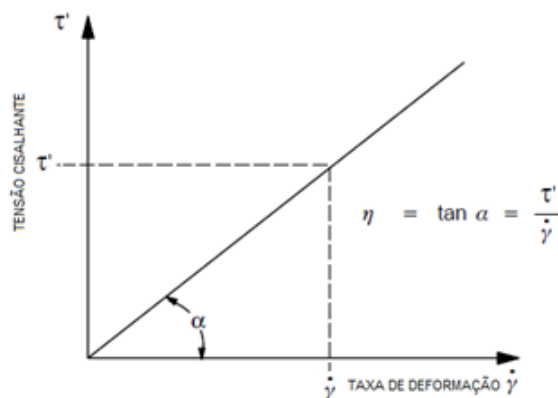


Figura 1. Tensão versus taxa de deformação, fluido newtoniano.
Fonte: Adaptado de Schramm (2000).

De acordo com a maneira que a viscosidade varia, há classificações diversas para o fluido. Por exemplo, líquidos que aumentam sua viscosidade com o aumento da taxa de deformação são ditos fluidos dilatantes. Ao contrário, fluidos que diminuem sua viscosidade com o aumento da taxa de deformação são ditos pseudoplásticos (Schramm, 2000; Daubert e Foegeding, 1998).

A tixotropia de um sistema é a diminuição de viscosidade com o transcorrer do tempo. Um material reopético é aquele que demonstra o comportamento oposto, aumentando sua viscosidade em função do tempo transcorrido. Geralmente, a ocorrência desses fenômenos está unida à formação ou destruição de ligações químicas no sistema de estudo (Daubert e Foegeding, 1998).

Outro desvio do típico comportamento Newtoniano corresponde ao não escoamento de alguns fluidos a baixas magnitudes de tensão. Para eles há uma tensão mínima de escoamento, τ'_{0} , a partir da qual passa a existir movimento (Daubert e Foegeding, 1998).

Existem vários modelos aos quais dados experimentais de fluidos não newtonianos podem ser ajustados. Para os casos mais típicos na indústria alimentícia usam-se, principalmente, os modelos de Herschel-Bulkley Generalizado e de Ostwald-De-Waelle, que com algumas considerações em seus parâmetros também podem adaptar-se a fluidos newtonianos. O modelo utilizado nesse trabalho, a partir do qual foram adequados parâmetros, foi o modelo de Ostwald-De-Waelle, conhecido também por Lei da Potência. Ele é demonstrado na Equação 2:

$$\tau' = K(\dot{\gamma})^{n_1} \quad (2)$$

onde K é o índice de consistência e n_1 é o índice de comportamento de fluxo (Steffe, 1996; Daubert e Foegeding, 1998).

A literatura mostra que a maioria dos sistemas alimentares com polpa de fruta desvia do comportamento newtoniano para a pseudoplasticidade. Pelegrine et al. (2002), Haminiuk (2005), Izidoro et al. (2007), Ferreira (2008) e Kechinski et al. (2011) trabalharam com manga, araçá e amora preta, banana verde, cupuaçu, e mirtilo respectivamente e comprovaram a pseudoplasticidade desses sistemas. A Figura 2 exhibe um exemplo típico de curva ponderando a tensão e deformação para um fluido pseudoplástico, assim como a viscosidade aparente em função da taxa de deformação.

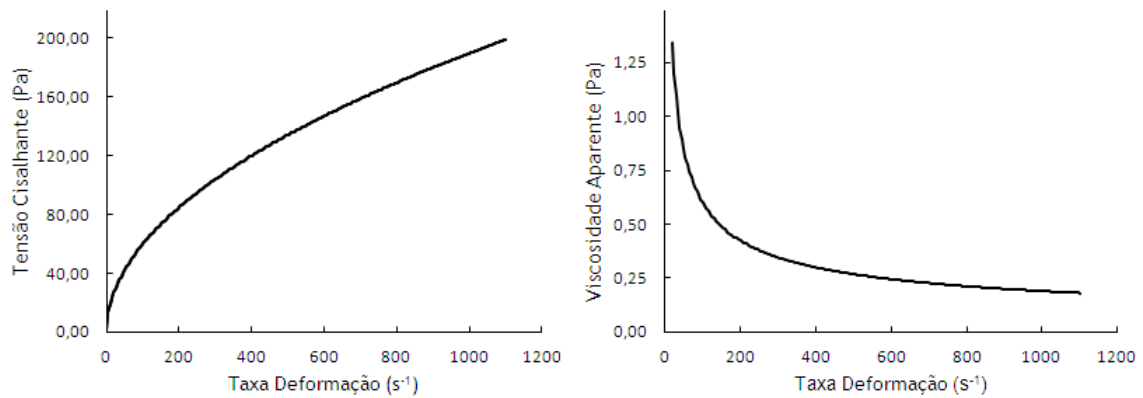


Figura 2. Tensão e viscosidade versus taxa de deformação em fluido pseudoplástico.

Além dos aspectos discutidos com relação ao comportamento da viscosidade, os alimentos apresentam também outro desvio importante com relação ao comportamento newtoniano que é a viscoelasticidade, ou seja, o fato de combinarem características de líquidos viscosos com propriedades elásticas. Outros parâmetros importantes decorrem da avaliação dessa viscoelasticidade. Para sua avaliação, são aplicadas deformações oscilatórias no sistema (Equação 3), que causam a geração de tensões oscilatórias defasadas (Equação 4); dependendo do atraso no ângulo de fase entre a deformação e a tensão, pode-se avaliar o quanto aquele sistema apresenta caráter elástico e viscoso (Schramm, 2000).

$$\gamma = \gamma_i \text{sen}(wt) \quad (3)$$

$$\tau' = \tau'_i \text{sen}(wt + \delta) \quad (4)$$

Nas equações 3 e 4, as variáveis γ_i , τ'_i , ω , δ e t são respectivamente amplitude de deformação, amplitude de tensão cisalhante, frequência angular, ângulo de fase e tempo. A frequência angular ω é dado pela Equação 5, onde π é a relação numérica entre perímetro e diâmetro de uma circunferência e f é a frequência de oscilação.

$$\omega = 2\pi f \quad (5)$$

Alguns conceitos que devem ser introduzidos são os módulos: complexo, de armazenamento ou elástico e de perda ou viscoso. O módulo complexo, G^* , explicitado na Equação 6, indica a relação entre a amplitude de tensão cisalhante e a amplitude de deformação. Ele pode ser decomposto em duas parcelas distintas, que são os dois outros módulos citados, de armazenamento e de perda (Schramm, 2000).

$$G^* = \frac{\tau'_i}{\gamma_i} \quad (6)$$

Os módulos elástico, G' , e viscoso, G'' , são calculados pelas equações 7 e 8.

$$G' = G^* \cos(\delta) \quad (7)$$

$$G'' = G^* \text{sen}(\delta) \quad (8)$$

Decorre das Equações 7 e 8 que:

$$G^* = [(G')^2 + (G'')^2]^{1/2} \quad (9)$$

A partir do conceito de módulo complexo pode ser definida a viscosidade complexa η^* , que está descrita na Equação 10, onde i é a representação do número complexo correspondente à raiz quadrada negativa da unidade. (Schramm, 2000).

$$\eta^* = \frac{G^*}{i\omega} \quad (10)$$

Segundo Steffe (1996), a avaliação dos módulos G' e G'' é um indicativo da estrutura de gel de um alimento. Géis são sistemas que apresentam os valores de G' superiores aos de G'' em toda faixa de frequência. Géis fracos ou físicos são aqueles onde há variabilidade dos módulos em função da frequência, ao contrário dos géis elásticos ou verdadeiros nos quais não variam os módulos com a frequência. Quando submetido a altas tensões um gel elástico sofre ruptura e um gel verdadeiro escoou. A Figura 3 mostra um exemplo típico de teste oscilatório para um fluido newtoniano, um sólido e um sistema viscoelástico.

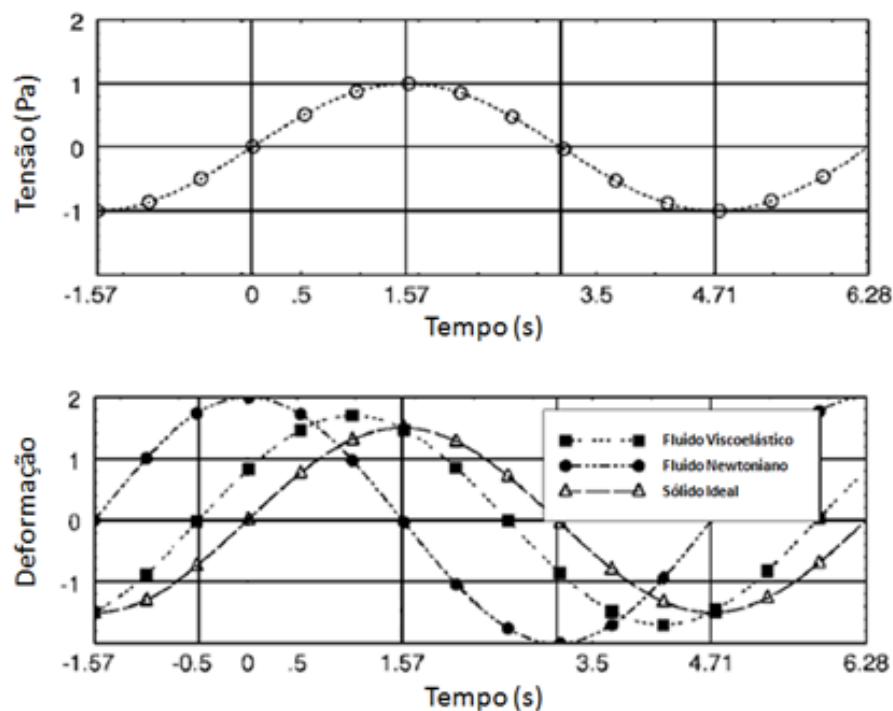


Figura 3. Curvas de tensão e deformação para teste oscilatório.
Fonte: Adaptado de Schramm (2000).

Os equipamentos que permitem fazer medições de tensões, deformações e propriedades viscoelásticas são chamados de reômetros. Os reômetros são equipamentos versáteis que trabalham com uma camada pequena de fluido em um fluxo laminar delimitado por geometrias diferentes (Figura 4). As geometrias mais comuns são: cilindros concêntricos, pratos paralelos e cone e placa. Alguns cuidados devem ser observados para um funcionamento correto do aparelho de medição, como o não escorregamento, o escoamento em estado estacionário, e a homogeneidade e ausência de modificações físico-químicas na amostra (Steffe, 1996).

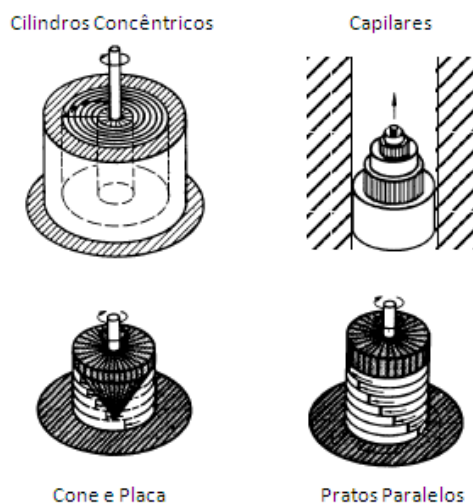


Figura 4. Geometrias para diferentes reômetros.
Adaptado de Schramm (2000).

É importante ressaltar que os valores dos módulos se modificam de acordo com as frequências de oscilação e deformação utilizadas no teste. Entretanto, em um teste de varredura de deformação a baixa frequência, encontra-se uma região onde os módulos elástico e viscoso são constantes. Essa região é conhecida como região de viscoelasticidade linear (Schramm, 2000; Han et al., 2002). As particularidades de cada sistema alimentar requerem, muitas vezes, que seja realizado um estudo reológico para explicar soluções de problemas típicos na indústria ou em pesquisa e desenvolvimento de novos alimentos.

2.2 Caracterização Físico-Química de Alimentos

Na análise de alimentos é de grande importância a determinação de características físico-químicas, visto que os resultados dessas análises podem fornecer informações importantes a respeito da composição nutricional, estabilidade, controle de qualidade, desenvolvimento, assim como a conformidade de um produto com a legislação (Chaves et al., 2004).

2.2.1 Água e Alimentos

A água é onipresente em alimentos. A parcela de água nesses afeta sua qualidade, estabilidade e suas propriedades físicas. A porcentagem em massa de água varia de acordo com o tipo de nutrimento, podendo chegar, em alguns casos, a 98 %. O estado da água em solução, emulsão ou sólido é geralmente descrito pela atividade da água. Além dessa abordagem clássica de estudo da estrutura da água em alimentos existem métodos mais recentes, que são o estudo da temperatura de transição vítrea e a espectroscopia de ressonância magnética nuclear. Estas técnicas avaliam a mobilidade da água no meio sólido ou solução de acordo com as interações presentes no sistema (Lewick, 2004; Barbosa-Cánovas et al. 2007; Mathlouthi, 2001).

Interações entre água e moléculas de soluto são chamadas de hidratação. Pontes de hidrogênio dominam as interações com moléculas polares e interações mais fracas dominam as interações com apolares. A água, cujas moléculas estão imobilizadas na

estrutura das macromoléculas, sob a influência de ajuntamentos polares, apolares ou de carga elétrica, é denominada água ligada. A diminuição do grau de liberdade de movimento dessa água é fundamental na estabilização espacial do alimento com biopolímeros (Lewick, 2004).

A natureza e a conformação espacial das substâncias no sistema são importantes e contribuem positiva ou negativamente para essa união. Macromoléculas, como proteínas ou polissacarídeos, interagem de forma intramolecular, distendem-se, rotacionam, criam reticulações e interagem com outros polímeros, alterando sua conformação e liberando ou excluindo sítios para ligação com a água (Lewick, 2004).

Biopolímeros induzem a ligação da água através dos mecanismos já descritos, porém moléculas pequenas também influenciam nessas interações de forças de atração. Algumas delas competem pela água e formam uma nova estrutura, redistribuindo o material (Lewick, 2004).

A distribuição dessas moléculas de água em alimentos está atrelada à estabilidade. Manter estabilidade significa preservar os alimentos. A preservação envolve ações para assegurar constância em propriedades desejadas durante um período de tempo específico, visando qualidades satisfatórias no momento do consumo. Condições apropriadas, processamento e composição são fatores importantes para sustentar a estabilidade alimentar (Rahman, 2007).

Um parâmetro muito usado para estimar a estabilidade de um alimento é capacidade de retenção de água, visto que essa medida fornece informações importantes a respeito da estrutura do produto. Nesse teste é possível observar o dessecamento da amostra, indicando que a estrutura não foi capaz de manter a sua conformação original.

A umidade é outro parâmetro importante de avaliação de alimentos. Ela está relacionada com estabilidade, qualidade e composição do alimento e pode afetar os cuidados com o armazenamento, com o material a ser utilizado na embalagem e nas etapas de processamento de produto (Chaves et al., 2004).

2.2.2 pH

Fatores diversos tornam relevante a determinação do pH de um alimento, tais como: influência na palatabilidade, desenvolvimento de microrganismos, escolha da temperatura de esterilização, escolha do tipo de material de limpeza e desinfecção, escolha do equipamento com o qual se vai trabalhar na indústria e escolha de aditivos. (Chaves, 1993).

2.2.3 Sólidos Solúveis

O conteúdo de sólidos solúveis ou °BRIX é usado na indústria alimentícia como variável de controle de qualidade de matérias-primas ou de produtos finais como doces, sucos, néctares, polpas, entre outros. Para alguns frutos, os sólidos solúveis são usados como índice de maturidade e podem indicar as substâncias que se encontram dissolvidas no meio (Chaves et al., 2004).

2.2.4 *Microscopia Ótica*

O início do uso da microscopia em alimentos foi na busca de contaminação nos mesmos. Seguiu-se depois, um interesse pelas estruturas dos alimentos vistos nas imagens e na sua relação com outras propriedades. A estrutura de alimentos pode ser analisada de forma precisa através das fotomicroscopias, pois elas podem acusar mudanças morfológicas e químicas como, por exemplo, gelatinização de amido e a desnaturação de proteínas. O entendimento da morfologia e a qualidade de produto de espumas, dispersões, extrusados, fibras e emulsões tem esse tipo de análise como complemento em uma caracterização (Kálab et al., 1995).

2.3 **Ingredientes da Sobremesa**

A seguir são destacados alguns ingredientes da formulação proposta para a sobremesa à base de soja nesse trabalho.

2.3.1 *Extrato de Soja*

O Brasil é o segundo maior produtor de soja no mundo, atrás apenas dos Estados Unidos. Na safra de 2010/2011, a cultura ocupou uma área de 24,2 milhões de hectares, nos quais foram produzidas 75 milhões de toneladas de grão. A produtividade média brasileira para a soja foi, aproximadamente, de 3100 quilogramas por hectare. O total exportado gerou um acréscimo de US\$ 17,1 bilhões ao produto interno bruto. A produção mundial do grão foi, nesta última safra, de 263,7 milhões de toneladas, estando os Estados Unidos à frente do Brasil como o maior produtor, atingindo o valor de 90,6 milhões de toneladas de soja produzida por safra (EMBRAPA, 2012a).

Além da alta produção local e mundial, um papel nutricional importante vem sendo desempenhado pela soja: extratos desta encontram uma grande variedade de aplicações na indústria alimentícia, como, por exemplo, iogurtes, sucos e sobremesas. Essa atenção deve-se ao seu alto valor nutricional, à sua contribuição à textura do alimento e às suas propriedades emulsificantes. Um entendimento apurado do comportamento da soja em meio alimentício requer um conhecimento de interações e arranjos moleculares, os quais podem contribuir para consistência e estabilidade de produto (Roesch e Corredig, 2002).

Os benefícios de uma dieta com soja se estendem à saúde humana. Ela proporciona características de redução do colesterol no sangue, prevenção de diabetes, doenças renais, intestinais e de alguns tipos de câncer. Isto pode ser embasado pelos inúmeros compostos biologicamente ativos no grão que podem ser associados com prevenção química de doenças. Destacam-se as isoflavonas, os inibidores de protease, o hexafosfato de inositol, as lignanas, os fitoesteróis e as saponinas. (Friedman e Brandon, 2001; Kim et al., 2008). Explica-se, portanto, o alto interesse comercial que produtos à base de soja vêm adquirindo ao longo dos anos no mercado.

A inclusão de extrato de soja em determinado alimento é fundamentada também no fato desse ser uma boa fonte de proteína não animal. O grão de soja tem 48 % a 50 % em massa de proteínas (Garcia et al., 1997).

No entanto, ainda é escasso o número de trabalhos técnicos que avaliaram as propriedades de misturas alimentares com essa proteína. Entre tais trabalhos pode-se destacar os de Sanches et al. (1995), Tiziani e Vodovitz (2005), Lim e Narsimham (2006), Alvarez et al. (2011) e Jaramillo et al. (2011) que caracterizaram misturas alimentícias com proteína de soja como complemento. Os aspectos mais relevantes destes trabalhos são apresentados nos parágrafos seguintes.

Sanches et al. (1995) estudaram as interações entre diversas gomas, como xantana e guar, e diferentes concentrações de proteína no índice de consistência das misturas. Uma relação entre as variedades de goma e a adsorção de água também foi alvo de estudo. Os autores encontraram um valor elevado de adsorção de água para goma xantana comparado ao das outras gomas estudadas por ele. Além disto, foi mostrado que o índice de consistência (apresentado na Seção 2.1, Equação 2), é maior quando há utilização de duas gomas em uma mesma formulação.

Tiziani e Vodovitz (2005) e Alvarez et al. (2011) detiveram-se na pesquisa do comportamento reológico de suco de tomate e purê de batata respectivamente com incorporação de soja. Tiziani e Vodovitz (2005) verificaram aumento de viscosidade com a inserção de proteína de soja ao suco de tomate e comportamento pseudoplástico no fluido estudado. Alvarez et al. (2011) encontraram diminuição de propriedades viscoelásticas na adição de proteína de soja ao purê de batata por não haver homogeneização entre as fases proteica e do amido da batata. Lim e Narsimham (2006) analisaram o comportamento reológico em função da temperatura e da formulação de uma sobremesa, o pudim, acrescida de proteínas. Jaramillo et al. (2011) estudaram a estabilidade de sistemas de pécticos de proteína de soja, considerando a possibilidade de precipitação em certa faixa de pH. Os autores mostraram que em faixas entre 4 e 5, há uma menor solubilidade da proteína. Com a adição de pectina conseguiu-se aumentar essa solubilidade na faixa de pH crítica.

2.3.2 *Gomas Alimentares*

Outros componentes muito comumente utilizados na indústria alimentícia são as gomas, que cumprem quatro importantes papéis estruturais dos alimentos atuando como espessantes, gelificantes, estabilizantes e agentes de suspensão. Todas essas ações decorrem de interações moleculares entre água e goma, as quais levam à formação de agregados e/ou estruturas tridimensionais. Idealmente, seria interessante poder prever o comportamento reológico e estabilidade de um sistema a partir das propriedades funcionais individuais de gomas e proteínas. No entanto, as propriedades de misturas alimentares não dependem somente de cada ingrediente em particular, mas também da natureza e interação entre todos eles (Sanches et al., 1995).

Uma das gomas alimentares de uso bastante difundido é a carboximetilcelulose (CMC), um derivado de celulose produzido pelo tratamento dessa com ácido monocloroacético em presença de excesso de hidróxido de sódio. A sua unidade repetitiva é mostrada na Figura 5, onde o radical R pode ser H, CH₂CO₂H ou CH₂CO₂Na. A CMC é um importante produto industrial, vendido em maior quantidade sob a forma de sal de sódio e está geralmente presente em mantimentos de caráter ácido dotados de particulados. Sabe-se que a temperatura e a concentração da goma influenciam fortemente as características do fluido em que se encontram. Temperaturas elevadas

podem degradar as características emulsificantes da goma (Abdelrahim e Ramaswamy, 1995; Fujimoto et al., 2002).

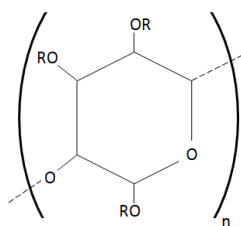


Figura 5. Unidade repetitiva da goma CMC.

A Figura 6 mostra outra goma de uso comum na indústria de alimentos, a goma carragena. Ela é um polissacarídeo sulfatado extraído de algas vermelhas, que pode apresentar três denominações dependendo da estrutura de sua unidade repetitiva, kappa, iotta ou lambda. A variedade mais amplamente estudada e consumida em alimentos é a kappa, não sendo incomum sua mistura com goma de alfarroba. O íon que interage de forma mais intensa com a carragena é o potássio. Há a gelificação da solução na presença desses íons com a formação de estruturas helicoidais pelos biopolímeros (Dunstan et al., 2001; Chen et al., 2001).

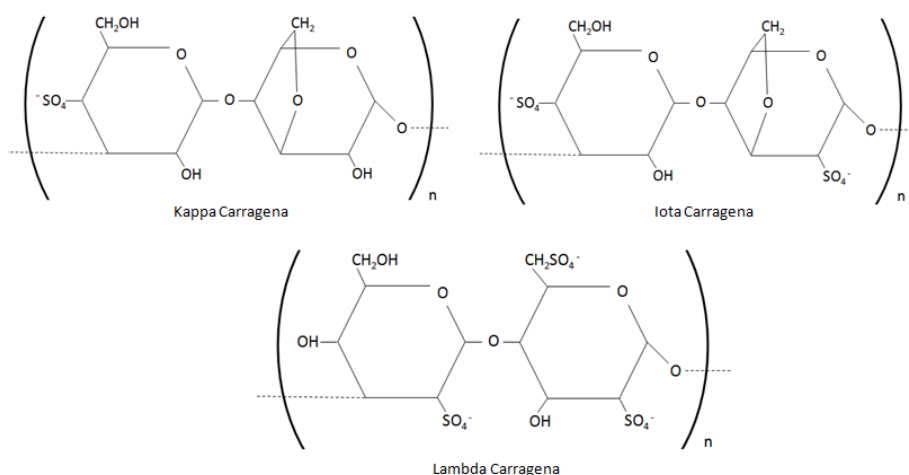


Figura 6. Diferentes unidades repetitivas para variedades de goma carragena.

Exemplos adicionais de gomas alimentares são agar-agar, alginato, cassia, gelana, guar, konjac e xantana (International Food Additives Council, 2012).

2.3.3 Banana

A banana é uma das frutas de maior consumo no mundo. Existem aproximadamente 1200 variedades de bananas sem sementes para alimentação, podendo ser utilizadas verdes ou maduras, cruas ou processadas (cozidas, fritas, assadas ou industrializadas). Elas são cultivadas abundantemente em países de clima tropical úmido e são consideradas uma das principais fontes de energia na dieta dos habitantes destes locais (Aurore et al., 2009; Borges et al., 2004).

Sua produção no território brasileiro foi de 7 milhões de toneladas no ano de 2010. No mundo, a produção tem grandes proporções atingindo, também em 2010, o valor estimado de 92,37 milhões de toneladas colhidas pelos 20 maiores produtores. O líder no setor da fruta é a Índia, com aproximadamente 32 milhões de toneladas de banana provindas de sua agricultura em 2010. Outros países com produção destacada da fruta são China, Filipinas, Equador, Indonésia, Tanzânia, Guatemala e México (FAO, 2010).

Bananas possuem vitaminas (A, B e C), minerais (Ca, K e Fe) e baixos teores calóricos e de gordura. Em média, 70 % de sua composição é água e a parcela sólida é constituída de carboidratos, proteínas e gorduras (Borges et al., 2004). Sun et al. (2002) classificam a banana como uma das frutas com quantidades significativas de compostos fenólicos em sua composição. Os fenóis ou polifenóis são conhecidos como fitoquímicos e são considerados importantes componentes bioativos auxiliares a saúde humana, prevenindo algumas formas de câncer. Giampieri et al. (2012) afirmam que há comprovação de características anti-inflamatórias e antioxidantes dos mesmos.

A banana possui uma dificuldade em seu processamento que consiste na tendência ao escurecimento, considerado uma das causas primordiais de perda de qualidade em frutas pós-colheita. Quando sem casca e cortadas, as frutas perdem a cor natural e adquirem um tom amarronzado. Além do aspecto visual insatisfatório, ocorrem mudanças químicas que deterioram o sabor e os nutrientes. Alternativas sugeridas para prevenção de escurecimento são o pré-tratamento com EDTA ou o choque térmico (Luo e Barbosa, 1997).

Para avaliação do grau de maturação da banana é usual em trabalhos científicos a utilização da escala de Von Loesecke. O fator observado para classificação da maturação é a coloração da fruta que pode variar de totalmente verde até amarela com áreas marrons (Figura 7).

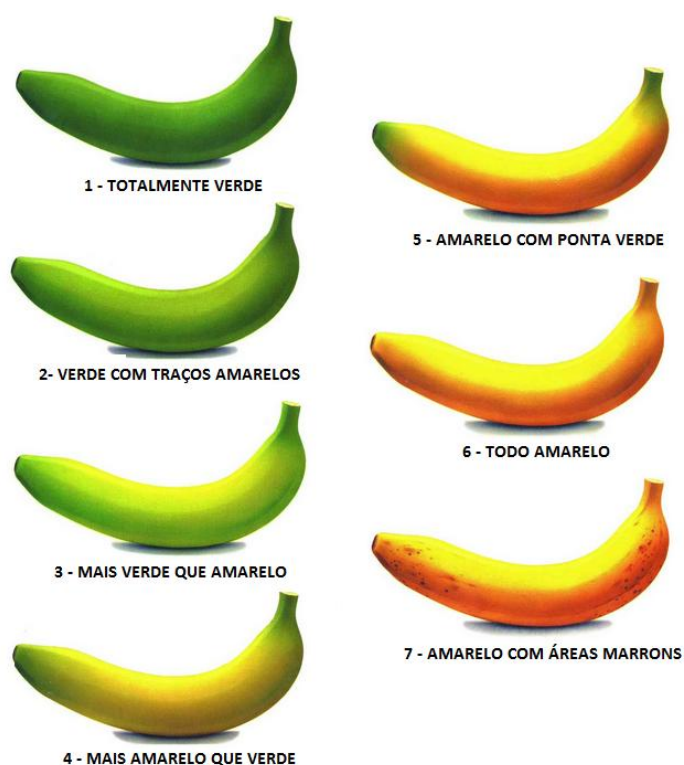


Figura 7. Escala de coloração e grau de maturação de Von Loesecke para bananas.
Fonte: Adaptado de CEASAMINAS (2012).

Alguns exemplos de trabalhos anteriores envolvendo banana e reologia na literatura são os artigos científicos de Khalil et al. (1989), Santiago et al. (2004), Zhang et al. (2005) e Guerrero e Alzamora (1997).

Khalil et al. (1989) analisaram a viscosidade de um suco concentrado de banana na faixa de temperatura de 30 °C a 70 °C com diferentes concentrações de sólidos solúveis (°Brix). Santiago et al. (2004) observaram a distribuição de tamanho de partículas sólidas e as propriedades reológicas em regime estacionário e oscilatório do amido de banana nas temperaturas de 30 °C e 60 °C. Zhang et al. (2005) também trabalharam com amido de banana, medindo viscosidade e propriedades físico-químicas. Guerrero e Alzamora (1997), por sua vez, estudaram o efeito da temperatura, concentração de glicose e pH nas propriedades reológicas de purê de banana. Todos esses artigos justificam-se pela relevância do processamento de alimentos incrementados com banana ou seus derivados.

3 Materiais e Métodos

3.1 Matéria-Prima e Local de Execução

As bananas utilizadas nesse trabalho foram da variedade habitualmente conhecida como “caterra”, a qual recebe o nome científico *Musa cavendish*. As frutas (Figura 8), oriundas do mesmo produtor no município de Morrinhos do Sul, foram adquiridas em feira local na cidade de Porto Alegre. A escolha dos frutos a serem processados foi de acordo com a uniformidade e ausência de lesões aparentes.



Figura 8. Bananas utilizadas nos experimentos.

As demais matérias-primas utilizadas foram os constituintes da sobremesa e reagentes para avaliações físico-químicas. Dentre os constituintes da sobremesa, o extrato de soja foi cedido pela Olvebra Industrial (Eldorado do Sul, Brasil), o amido modificado foi fornecido pela Corn Products (Balsa Nova, Brasil), a polidextrose foi provida pela Danisco Brasil (Cotia, Brasil), a goma CMC foi cedida pela Hexus Ford (Portão, Brasil), e a goma carragena foi fornecida pela Cargill Alimentos (Minnesota, Estados Unidos).

Para execução deste trabalho valeu-se da estrutura dos seguintes laboratórios do Departamento de Engenharia Química (DEQUI) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS): Laboratório de Tecnologia e Processamento de Alimentos (LATEPA), Laboratório de Tecnologia e Processamento de Polímeros (LATEP), Laboratório de Tecnologia em Engenharia Química (LATEQ), Laboratório de Tecnologia Orgânica (LATOR), Laboratório de Separação por Membranas (LASEM) e Laboratório de Controle e Integração de Processos (LACIP).

3.2 Preparação e Caracterização Físico-Química da Fruta e Polpa

3.2.1 Grau de Maturação

O grau de maturação das bananas foi avaliado de acordo com a escala de Von Loesecke apresentada anteriormente na Figura 3. Após a classificação e escolha, as mesmas foram armazenadas a 14 °C.

3.2.2 Preparação e Branqueamento das Polpas

As bananas armazenadas por 15 h a 14 °C foram sanitizadas por imersão em uma solução de hipoclorito de sódio com concentração de 0,5 g.L⁻¹ a 10 °C durante 15 min.

Após a refrigeração e sanitização das frutas, dois métodos diferentes de branqueamento foram utilizados neste trabalho: o tratamento por choque térmico e o tratamento com EDTA. O tratamento com EDTA seguiu o descrito por Melo e Vilas Boas (2006) e o tratamento por choque térmico foi adequado a partir do trabalho de Rodrigues et al. (1996). A polpa sem branqueamento também foi analisada.

O tratamento térmico consistiu na imersão das bananas descascadas e cortadas em rodela de 0,4 cm em água na temperatura de 96 °C por 3 min. Na sequência, elas foram peneiradas, para retirada de água, e colocadas em outro recipiente com água gelada, 5 °C, por mais 3 min e, posteriormente, trituradas em liquidificador doméstico.

O branqueamento por EDTA também começou com o descasque das frutas e corte em rodela de 0,4 cm de espessura. Essas rodela foram imersas em solução de Na₂EDTA 1 % a 10 °C por 5 min. A seguir, a água foi retirada através de peneiração e as rodela de banana foram trituradas em liquidificador doméstico.

Todas as polpas foram armazenadas sob refrigeração de 7 °C.

3.2.3 Sólidos Solúveis e pH da Polpa

O pH das polpas produzidas foi medido com pHmetro (Tecnal, modelo TEC-3MP, Brasil) devidamente calibrado e a concentração de sólidos solúveis (°Brix), foi mensurada por refratômetro analógico portátil (Carl Zeiss, modelo 32-G, Estados Unidos).

3.2.4 Análise do Grau de Escurecimento

A análise do grau de escurecimento, adaptada de Song et al. (2007), foi feita com as polpas produzidas, após 24 h de armazenamento. Para tanto, pesou-se 10 g de cada polpa em tubos *falcon* de 50 mL e adicionou-se 30 mL de água destilada. Os tubos foram levados, então, a um misturador do tipo *vortex* e agitados até a formação de uma fase apenas. Logo após, as amostras foram centrifugadas a 1035 g (Cielab, modelo CT-5000R, Brasil) por 10 min a 15°C. Em seguida, foram adicionados 15 mL de etanol 95% a 10 mL do sobrenadante para recentrifugação nas mesmas condições da primeira centrifugação.

O grau de escurecimento foi determinado medindo a absorvância do sobrenadante da segunda centrifugação em espectrofotômetro (Pró-Análise, UV 1600, Brasil) a 310 nm. Esse comprimento de onda foi escolhido após varredura de absorvâncias das amostras.

3.2.5 Umidade da Polpa

A determinação da umidade da polpa de banana foi efetuada tendo como diretriz o método gravimétrico AOAC 930.04 (AOAC, 1990).

Em uma cápsula metálica com um bastão de vidro foram colocados aproximadamente 10 g de areia. Esse conjunto foi levado à estufa por 2 h a 105 °C para retirada de sua umidade e, posteriormente, resfriado em dessecador durante 30 min.

Subsequentemente, foram adicionados cerca de 5 g de polpa de banana no conjunto cápsula, areia e bastão. Essa polpa foi homogeneizada com a areia com auxílio do bastão de vidro. Após a pesagem, as cápsulas foram colocadas em estufa a vácuo (Tecnal, modelo TE-395, Brasil) durante 8 h a 80 °C. Cabe ressaltar que a areia é necessária nessa análise para impedir a caramelização do açúcar e formação de uma crosta superficial na polpa, que impediria a saída de umidade da mesma. Ela também cria poros na amostra, facilitando a saída de água durante a secagem.

Após transcorrido o tempo na estufa a vácuo, as cápsulas foram colocadas em dessecador por 30 min, antes da pesagem final. A umidade em base seca foi determinada pela Equação 16, na qual X_W é a umidade percentual, M é a massa total inicial e M_S é a massa após a secagem na estufa.

$$X_W = \frac{100(M - M_S)}{M_S} \quad (11)$$

Esse procedimento foi realizado em triplicata para as polpas não branqueadas e branqueadas.

3.3 Sobremesa

Foram preparadas sobremesas com diferentes concentrações de polpa, a fim de verificar diferenças nas características reológicas e físicas das amostras.

3.3.1 Formulação

A formulação da sobremesa para 100 g é apresentada na Tabela 1. As concentrações de polpa utilizadas nas formulações foram 5 % (5p), 10 % (10p) e 15 % (15p). Além disso, também foram feitos testes com uma amostra controle, sem adição de polpa (0p). A relação entre água e polpa de banana está demonstrada na Tabela 2.

3.3.2 Preparação

A preparação da sobremesa iniciou com a divisão da água que foi destinada para solubilização do extrato de soja e a água que foi destinada à gelatinização do amido. Para 100 g de sobremesa, foram destinados 40 g de água para o amido modificado e o restante para o extrato de soja.

Tabela 1. Formulação da sobremesa (100 g).

INGREDIENTE	MASSA
Extrato de Soja	5,00 g
Açúcar	9,00 g
Polidextrose	2,00 g
Amido Modificado	3,00 g
Goma CMC	0,20 g
Goma Carragena	0,30 g
Sal	0,05 g
Água + Polpa de Banana	80,45 g
TOTAL	100 g

Tabela 2. Relação água / polpa para as sobremesas 0p, 5p, 10p e 15p.

VARIANTE	ÁGUA	MASSA DE POLPA
0p	80,45 g	0 g
5p	75,45 g	5 g
10p	70,45 g	10 g
15p	65,45 g	15 g

A solubilização do extrato de soja em água ocorreu à temperatura ambiente sob agitação mecânica (1000 RPM) durante 15 min. Após essa etapa, todos componentes sólidos secos foram adicionados e misturados lentamente com o intuito de obter máxima homogeneização e dispersão dos componentes na mistura.

A gelatinização do amido foi feita a 85 °C em banho termostático (Quimis, modelo Q266M, Brasil) sob agitação mecânica leve (1000 RPM) durante 5 min. Após esse tempo, a amostra foi retirada do banho e deixada à temperatura ambiente para resfriamento.

Finalizada a mistura dos ingredientes secos, adicionou-se o amido gelatinizado à formulação, e essa nova mistura foi agitada a 1000 RPM durante 15 min. Posteriormente, a polpa da fruta foi adicionada ao sistema e misturada por 5 min. A sobremesa, pronta, foi envasada e armazenada sob refrigeração a 7 °C.

3.4 Análises Físico-Químicas da Sobremesa

A estabilidade da sobremesa foi avaliada através da análise do índice e sedimentação e capacidade de retenção de água.

3.4.1 Sólidos Solúveis e pH

As análises de sólidos solúveis e pH das sobremesas foram feitas conforme o item 3.2.3, explicado anteriormente.

3.4.2 Índice de Sedimentação

O índice de sedimentação (IS) foi aferido conforme metodologia de Silva et al. (2010) com modificação no peso de cada amostra analisada. Para tanto, foram colocados 5 g de amostra em provetas e essas foram conservadas a 7 °C durante 10 dias. O volume total da amostra V_A e o volume de sedimento V_S foram medidos e o IS percentual ($IS_{\%}$) foi calculado pela Equação 12.

$$IS_{\%} = \frac{100V_S}{V_A} \quad (12)$$

3.4.3 Capacidade de Retenção de Água

A partir da metodologia descrita por Guzmán-González et al. (2000), fez-se os testes de capacidade de retenção de água (CRA). Para esse procedimento, após 72h de refrigeração a 7 °C, 20 g de amostra foram centrifugadas por 45 min a 3305 g. O soro sobrenadante expelido foi removido e pesado. A CRA percentual ($CRA_{\%}$) foi calculada segundo a Equação 13:

$$CRA_{\%} = \frac{100(P_T - S_E)}{P_T} \quad (13)$$

onde P_T e S_E são a massa total original da amostra e o massa de soro expelido, respectivamente.

3.4.4 Microscopia Ótica

A morfologia das sobremesas foi caracterizada por microscopia ótica (MO). Para tanto, as amostras foram diluídas em água destilada na proporção 1:5 e misturadas em agitador do tipo *vortex*. Logo após, 300 µL de cada amostra foram colocados em lâminas de vidro. Esse sistema foi seco com auxílio de bico de Bunsen e corado por imersão em corante químico vermelho safranina em uma concentração de 0,005 g.L⁻¹, durante 1 min. As amostras foram analisadas em microscópio ótico (Opton, modelo TNB-04D, Brasil) com aumento de 100x.

3.4.5 Reometria

As análises reométricas foram executadas em reômetro rotacional (Ares, TA Instruments, Estados Unidos) acoplado com sensor de pratos paralelos com abertura (*gap*) entre eles de 1,5 mm. O controle de temperatura foi feito através de ar circulante. As amostras de sobremesa foram submetidas tanto a testes dinâmicos quanto a testes estacionários e todos os ensaios foram realizados em triplicata. Cabe resaltar que foi

usada uma fina camada de óleo de máquina ao redor das amostras expostas ao ar circulante para evitar seu ressecamento.

3.4.6 Testes Reológicos Dinâmicos

As medições reológicas em regime dinâmico a que as diferentes sobremesas foram submetidas foram: varreduras de deformação, de tempo e de frequência.

Primeiramente, realizou-se uma varredura de deformação na faixa de 0,5 a 30 % na frequência de 10 rad/s com o objetivo de determinar a região de viscoelasticidade linear (RVL) das amostras. A RVL é conhecida por ser a região onde a estrutura do material é preservada, ou seja, os módulos de armazenamento (G') e de perda (G'') são independentes da frequência.

A fim de se verificar a possibilidade da ocorrência de alguma modificação de resposta viscoelástica ao longo do tempo foram feitas varreduras de tempo (25 min) a 10% de deformação, 20 rad.s⁻¹ e 25 °C.

As varreduras de frequência foram feitas entre 1 e 500 rad.s⁻¹ a 25 °C na deformação de 10 %, tendo como objetivo a análise das formulações sob diferentes condições de escoamento.

3.4.7 Testes Reológicos Estacionários

A análise reológica em regime estacionário foi realizada apenas para a amostra 10p nas temperaturas de 25, 40 e 60 °C. Os extremos de temperatura escolhidos dessa forma, pois 25 °C é considerada a temperatura do alimento na cavidade bucal durante o consumo (Engelen et al., 2003) e 60 °C é a temperatura de pasteurização industrial. Temperaturas inferiores a 25 °C não foram utilizadas devido à necessidade de uso do sistema de resfriamento com nitrogênio líquido.

A taxa de cisalhamento variou de 0,5 a 200 s⁻¹. Para cada taxa de deformação foi obtido o valor correspondente de tensão de cisalhamento (τ).

3.4.8 Modelos Aplicados

Os dados obtidos nos testes reológicos em regime estacionário foram ajustados ao modelo reológico de Oswald-De-Waele, utilizando o software Statistica versão 10.0 (Statsoft Inc., Estados Unidos).

3.5 Análise Estatística

Os dados deste trabalho foram analisados estatisticamente através da Análise de Variância (ANOVA). Para verificar quais amostras diferiram entre si, foi feito o teste de Tukey, onde o parâmetro p menor que 0,05 indica diferença estatística das amostras a

um nível de 95 % de confiança. O *software* utilizado para essas análises foi o Statistica versão 10.0 (Statsoft Inc., Estados Unidos).

4 Resultados e Discussão

4.1 Caracterização Físico-Química da Fruta e Polpa

4.1.1 Grau de Maturação da Fruta

As bananas da Figura 8 foram classificadas como amarelas (nível 6) segundo a escala de Von Loesecke. Assim, elas estão no seu estágio de amadurecimento ideal, pois não apresentam sabor adstringente característico de banana verde nem perda de propriedades físicas devido ao escurecimento enzimático e amolecimento da polpa, próprios do amadurecimento do fruto.

4.1.2 Caracterização Físico-Química da Polpa

Os valores encontrados para a quantidade de sólidos solúveis, pH, umidade e absorvância à 310 nm para as polpas, sem tratamento e branqueadas, são demonstrados na Tabela 3.

Tabela 3. Propriedades físicas das polpas de banana.

POLPA	pH	°BRIX	UMIDADE (%)	ABSORVÂNCIA
<i>IN NATURA</i>	4,62 ± 0,19 ^a	22,2 ± 1,0 ^a	72,21 ± 0,25 ^a	0,637 ± 0,009 ^a
EDTA	4,48 ± 0,12 ^a	19,2 ± 0,2 ^b	74,79 ± 0,64 ^a	0,595 ± 0,009 ^b
TÉRMICO	4,71 ± 0,04 ^a	18,3 ± 1,5 ^b	74,22 ± 1,80 ^a	-

Letras distintas indicam diferença por teste de Tukey com intervalo de confiança de 95 %.

Primeiramente é importante mencionar que os valores de pH, sólidos solúveis e umidade encontrados para a banana *in natura* estão nas faixas de valores reportados na literatura para diferentes variedades de banana (Tabela 4).

Tabela 4. Sólidos solúveis e pHs de diferentes variedades de banana.

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2012b).

VARIETADE DE BANANA	pH	SÓLIDOS SOLÚVEIS (°BRIX)	UMIDADE
Pacovan	4,36	27,4	0,677
Prata Anã	4,45	26,2	0,714
FHIA-18	4,6	21,2	0,778
Pioneira	4,52	22,2	0,765
Prata Graúda	4,32	19,8	0,789
Caipira	4,68	20,7	0,762
Nanica	4,91	24,2	0,726
Thap Maeo	4,37	25,1	0,729

Com relação ao efeito dos tratamentos de branqueamento utilizados, para o pH não houve diferença estatística entre a polpa *in natura* e as polpas que sofreram branqueamento. Os valores encontrados estão próximos aos de Mercali (2009) para bananas da variedade “prata”. O teste de Tukey mostrou que os dois tratamentos de branqueamento não influenciaram no pH das polpas significativamente. Quanto ao conteúdo de sólidos solúveis, nota-se que ocorreu uma redução dessa propriedade nas amostras que sofreram o branqueamento.

O teste de branqueamento das polpas mostrou que o tratamento com EDTA foi capaz de atenuar o escurecimento das mesmas. A partir da leitura em espectrofotômetro 310 nm encontraram-se os valores de $0,637 \pm 0,009$ para a polpa *in natura* e de $0,595 \pm 0,009$ para a polpa branqueada. Na análise de variância, pôde ser verificada a diferença estatística entre as duas amostras. O valor-P calculado (0,0447) indicou diferença significativa entre as amostras com uma confiança de 95 %.

A polpa que sofreu branqueamento térmico não permitiu sua homogeneização com a água e nem com o álcool etílico no teste de grau de escurecimento. Por conseguinte, não houve liberação de coloração desta para os solventes. Verificaram-se visualmente mudanças consideráveis na estrutura e aparência da polpa, que adquiriu consistência gelatinosa, possivelmente devido à gelatinização de seu amido. Com isso o tratamento térmico tornou-se impróprio para o branqueamento das polpas, pois deseja-se uma polpa com aparência idêntica à natural. Pelos motivos acima explicados, para a formulação da sobremesa foi utilizada a banana branqueada com EDTA.

4.2 Análises Físico-Químicas da Sobremesa

4.2.1 Sólidos Solúveis e pH

O °BRIX e o pH das sobremesas com concentrações diversificadas de polpa estão dispostos na Tabela 5.

Tabela 5. Sólidos solúveis e pH para as sobremesas (0p, 5p, 10p e 15p).

SOBREMESA	pH	°BRIX
0p	$6,80 \pm 0,02^a$	$15,8 \pm 0,2^c$
5p	$6,57 \pm 0,04^b$	$17,2 \pm 0,3^{bc}$
10p	$6,43 \pm 0,02^c$	$18,4 \pm 0,2^b$
15p	$5,80 \pm 0,01^d$	$21,3 \pm 0,6^a$

Letras distintas indicam diferença estatística (teste de Tukey com intervalo de confiança de 95 %)

Visualizando a Tabela 6, pode-se afirmar que o aumento da concentração de polpa causou uma redução no pH das amostras, visto que todas elas apresentaram diferença significativa quanto ao pH. Já o conteúdo de sólidos solúveis diferiu significativamente entre as amostras 0p, 10 p e 15 p, sendo esse maior nas amostras com maior porcentagem de polpa. A formulação 5p não diferiu das amostras 0p e 10p, de acordo com resultado do teste de Tukey.

A inserção de polpa branqueada com EDTA à formulação, com pH médio de 4,48, é a razão pela qual o pH decai com aumento de concentração de polpa. O conteúdo de sólidos solúveis também tem o mesmo comportamento, embora o valor para 15p ultrapasse o valor de °BRIX da polpa adicionada, conclui-se que houve mudanças na solubilidade nessa amostra.

4.2.2 Índice de Sedimentação

Não se obteve nenhum sólido sedimentado nas amostras testadas mesmo após 7 dias de refrigeração. Quanto a esse parâmetro, pode-se afirmar que todas as sobremesas estão estáveis. Esse resultado condiz com aqueles apresentados por Jaramillo et al. (2011), que indicam que as limitações de solubilidade da proteína de soja são mais críticos na faixa de pH entre 4 e 5.

Para períodos superiores de armazenamento, foi verificada modificação estrutural das amostras, caracterizada por separação de fases visível a olho nu. Não foi possível coletar dados de volume de sedimentado.

4.2.3 Capacidade de Retenção de Água

Quanto à capacidade de retenção de água (CRA), foi observado um decréscimo com o aumento da concentração de polpa na sobremesa até a formulação com 10 % em massa de polpa (10p). A formulação 15 p teve uma CRA estatisticamente igual à 10p. Assim, a adição de polpa ao sistema desestabilizou a estrutura da amostra, pois houve menor capacidade do produto em reter água (Tabela 6).

Tabela 6. Comparação (Tukey) de capacidade de retenção de água das sobremesas.

POLPA	CRA (%)
0p	84 ± 1 ^a
5p	77 ± 1 ^b
10p	69 ± 2 ^c
15p	72 ± 1 ^c

Letras distintas indicam diferença estatística (teste de Tukey com intervalo de confiança de 95 %)

4.2.4 Microscopia Ótica

A microscopia ótica das sobremesas mostrou diminuição de tamanho de aglomerados com o aumento da concentração de polpa na formulação (Figura 9). Há o aparecimento de duas fases que podem ser diferenciadas pelas colorações escura e clara.

Arltoft et al. (2008) trabalharam com sobremesas lácteas com proteínas, pectina e goma carragena como ingredientes, dos quais dois desses estão presentes na formulação da sobremesa (proteína, de diferente fonte, e goma carragena). Segundo esse autor, quando há formação de estrutura multifásica em sistemas de biopolímeros termodinamicamente incompatíveis, há uma disputa entre formação de gel e separação de fases. A adição de polpa de fruta aos sistemas pareceu deslocar esse equilíbrio termodinâmico para um nível maior de separação de fases. Esta afirmação baseia-se na análise da Figura 9, na qual se observa que as partículas de coloração escura vão diminuindo de tamanho e tornando-se menos translúcidas à medida que aumenta a concentração de polpa na sobremesa.

Pode ser traçado um paralelo entre as imagens e a CRA, visto que a formulação 0p, sem polpa, mostrou maior capacidade de retenção de água e apresentou aglomerados de maior tamanho (fase gel). De acordo com Verbeken et al. (2006), as proteínas do leite e a goma carragena, em uma sobremesa láctea, estão envolvidas na formação de uma fase gelatinosa, enquanto o amido, em grânulos, estabiliza os outros componentes do sistema. Há possibilidade das duas fases resultantes estarem, nas sobremesas desse estudo, uma estabilizada pela goma e proteína e a outra pelo amido. Assim, as duas fases e suas interações contribuem para as mudanças nas propriedades físico-químicas das sobremesas com diferentes concentrações de polpa.

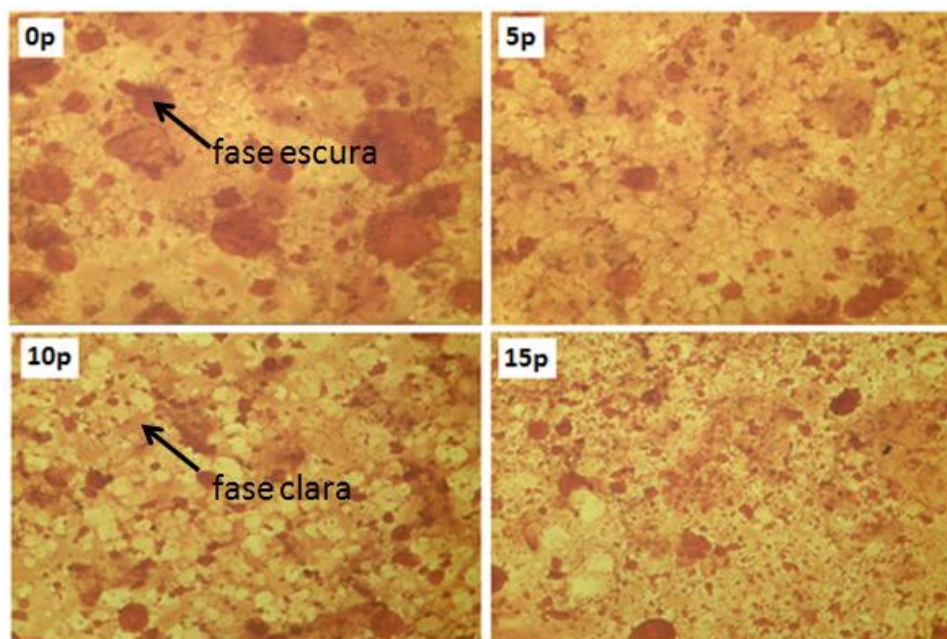


Figura 9. Fotomicrografias das amostras de sobremesa com concentrações de polpa de 0 % (0p), 5% (5p), 10% (10p) e 15% (15p) com aumento de 100x.

4.3 Análises Reológicas da Sobremesa

4.3.1 Testes Reológicos Dinâmicos

Primeiramente, foram feitas as varreduras de deformação com o objetivo de encontrar a região de viscoelasticidade linear (RVL) e verificar a presença de torque obtido nas análises das amostras. Nesses testes, não foi possível encontrar a RVL, visto

que os valores de torque registrados no reômetro a baixas deformações e frequências foram inferiores ao limite de precisão do equipamento. O gráfico de varredura de deformação para a amostra 0p está na Figura 10, os demais gráficos (5p, 10p e 15), também não apresentaram RVL.

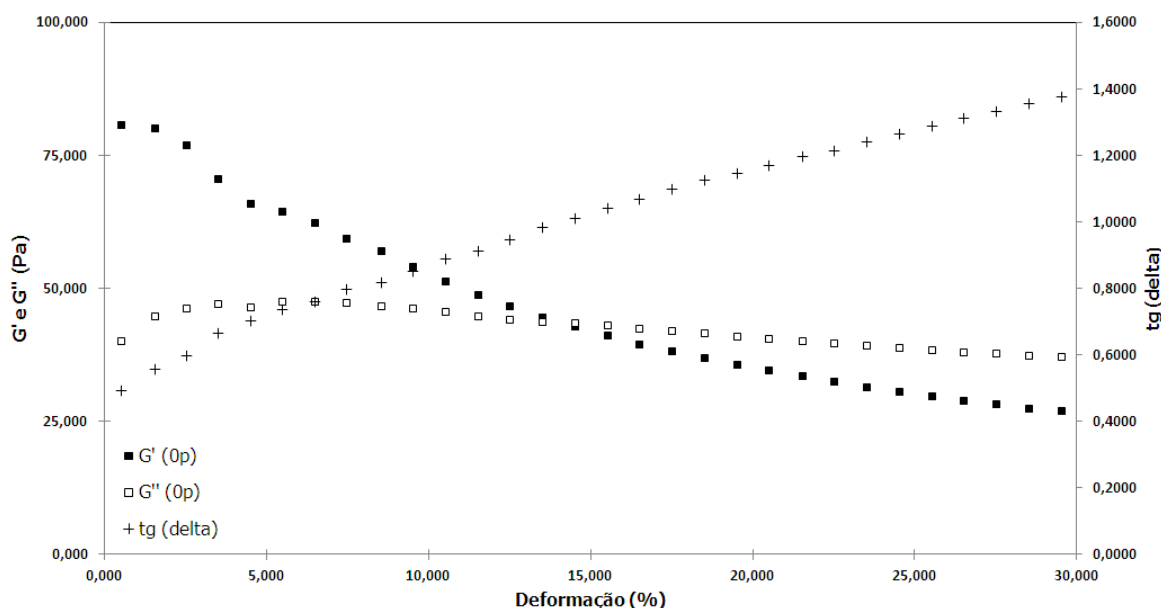


Figura 10. Varredura de deformação (0,5 % a 30 %; 10 rad.s^{-1}) para amostra 0p.

Após a varredura de deformação, foram feitas as varreduras de tempo a 15 % de deformação e frequência de 10 rad/s. Esses valores foram escolhidos devido à presença de torque aceitável em todas as amostras nas varreduras de deformação. Nesses testes, um comportamento diferente do esperado foi constatado, visto que ocorreu o aparecimento de uma zona inicial transiente, na qual os módulos elástico e viscoso decaíram com o decorrer do tempo antes de ficarem constantes em um único valor. Esse comportamento ocorreu em todas as amostras, porém está exemplificado apenas para a amostra 0p, na Figura 11. Esse comportamento pode ser justificado pelo alinhamento das fibras da sobremesa na direção de escoamento.

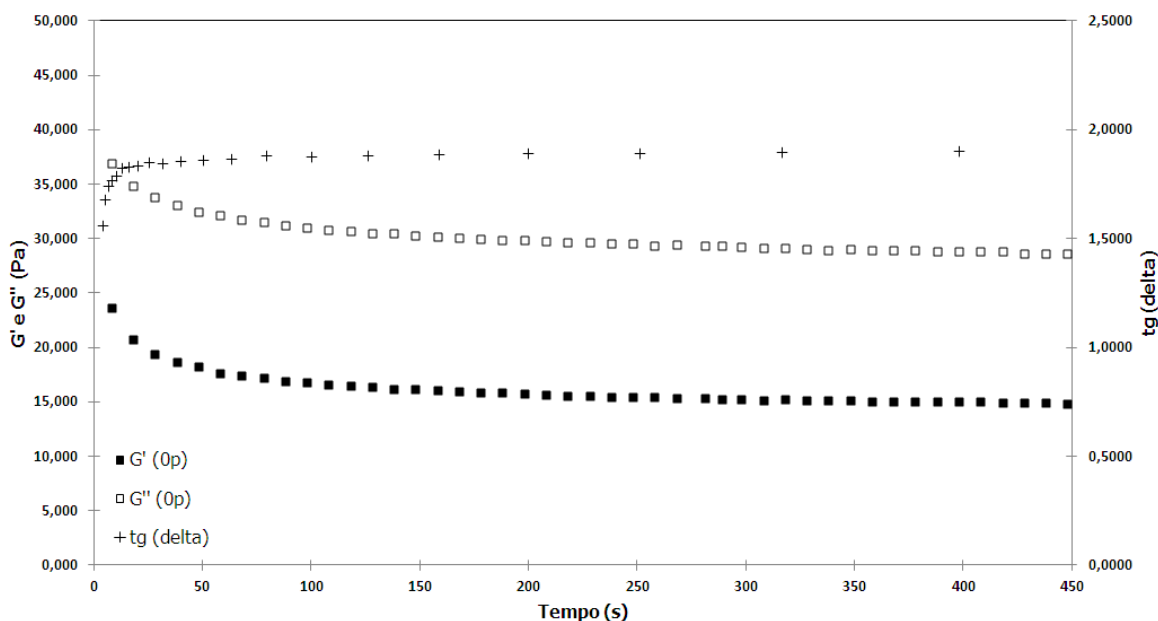


Figura 11. Varredura de tempo por 25 min para amostra 0p (10 rad.s^{-1} , 15 %).

Para ter confiabilidade nos resultados, foi preciso sair dessa região transiente. Para tanto, os testes de varredura de frequência (Figuras 12 a 15) foram corridos consecutivamente três vezes. Os pontos do segundo terceiro teste foram coincidentes, indicando que a etapa transiente foi ultrapassada.

Para classificar um sistema como um gel, é preciso que o módulo elástico seja superior ao viscoso em toda a faixa de frequência, e isso só ocorreu na formulação 15p (Figura 15). As outras sobremesas foram classificadas como soluções viscosas concentradas. Em frequências elevadas, todas as amostras apresentaram o módulo elástico superior ao viscoso; esse comportamento já era esperado, visto que em valores mais altos de frequência as amostras perdem sua mobilidade e tendem a comportar-se como um sólido. Cabe ressaltar que a sobremesa 15p não foi um gel verdadeiro e sim um gel fraco, já que os valores dos módulos não foram constantes em função da frequência.

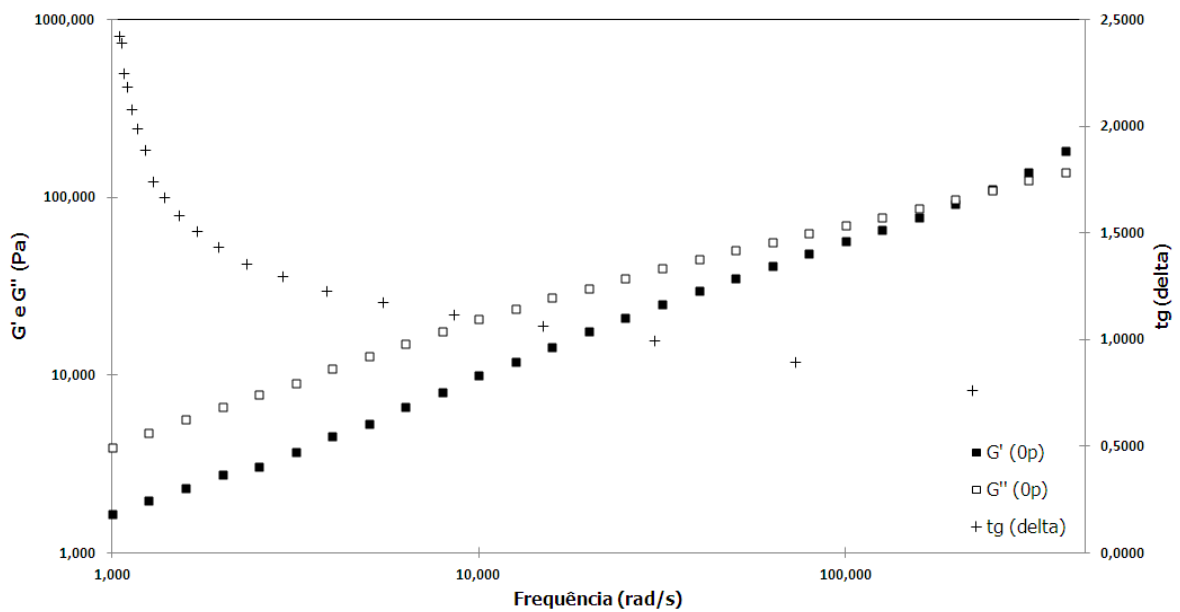


Figura 12. Gráfico de varredura de frequência (1 rad.s^{-1} a 500 rad.s^{-1} ; 15 %) para a amostra 0p.

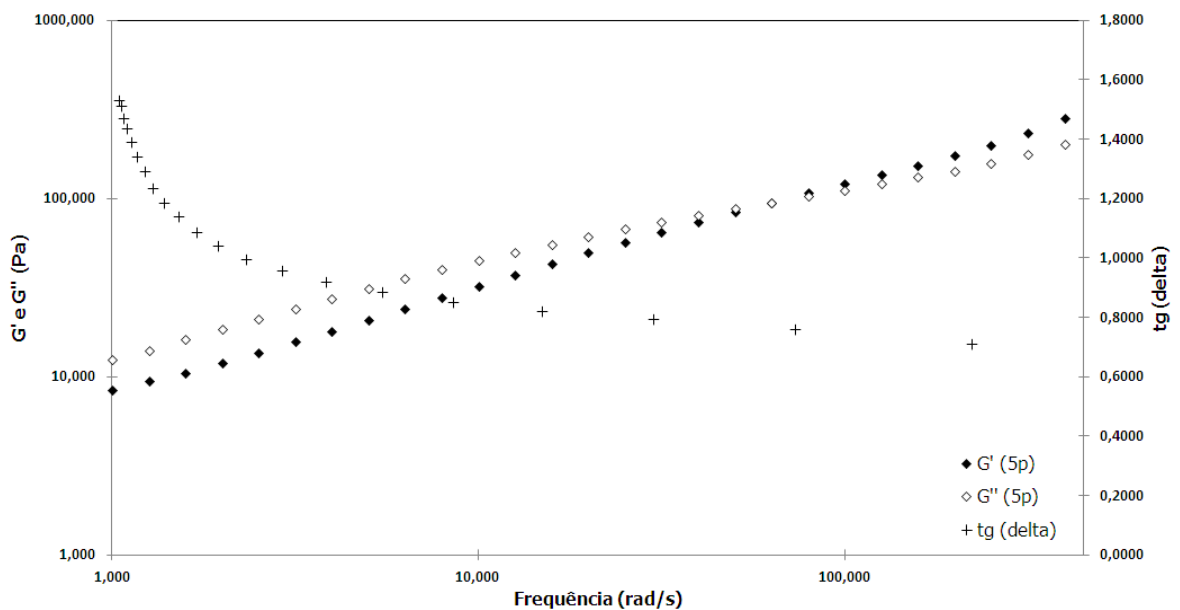


Figura 13. Gráfico de varredura de frequência (1 rad.s^{-1} a 500 rad.s^{-1} ; 15 %) para a amostra 5p.

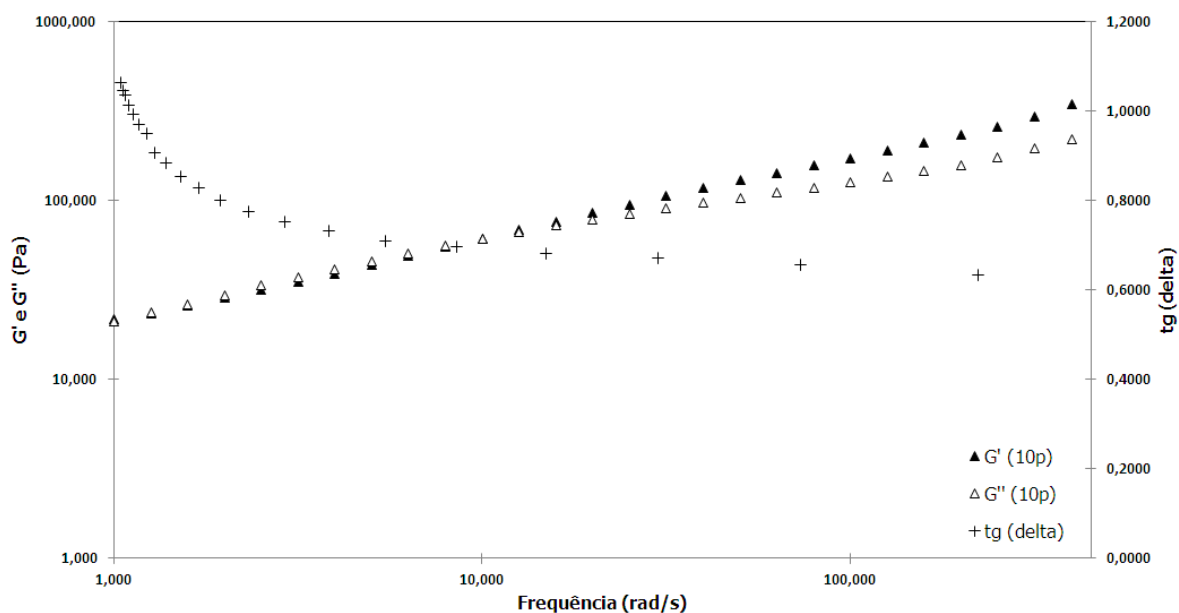


Figura 14. Gráfico de varredura de frequência (1 rad.s^{-1} a 500 rad.s^{-1} ; 15 %) para a amostra 10p.

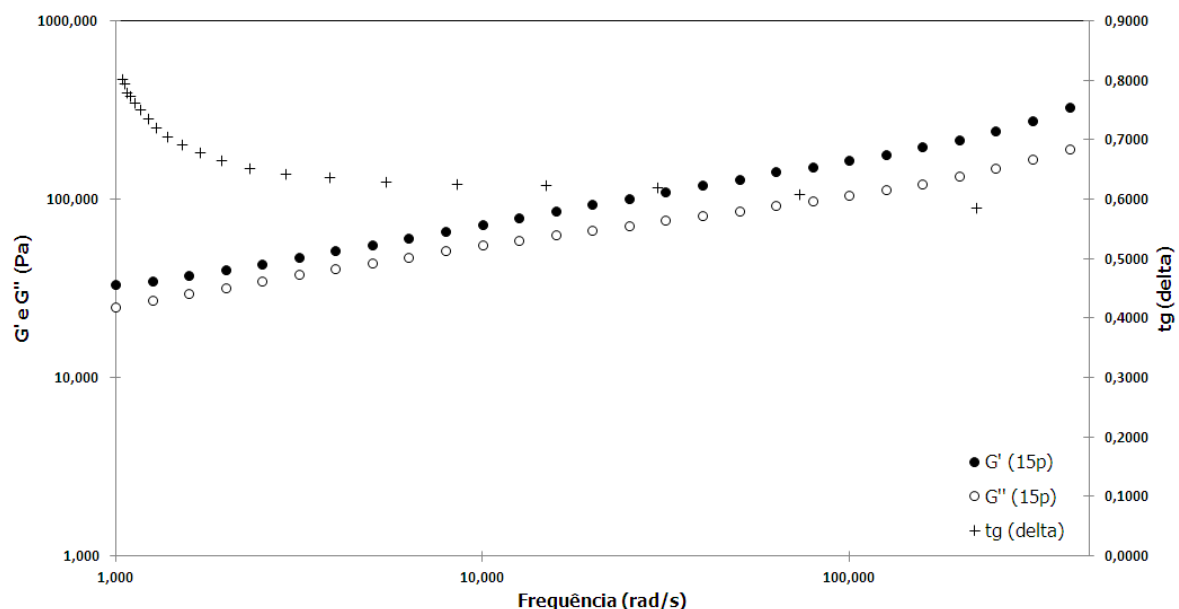


Figura 15. Gráfico de varredura de frequência (1 rad.s^{-1} a 500 rad.s^{-1} ; 15 %) para a amostra 15p.

Após as varreduras de frequência, novas varreduras de tempo com a mesma amostra foram feitas em diferentes valores de frequência, baixa (1 rad.s^{-1}) e alta (500 rad.s^{-1}), para verificar se as amostras mostravam alguma mudança estrutural ao longo da análise. A partir dos resultados (exemplo exposto na Figura 16), todos com o mesmo comportamento, concluiu-se que todas as amostras foram estáveis com o tempo.

Com a inserção de polpa na formulação, percebeu-se aumento do G' das amostras (Figura 17) até a amostra 10p. A amostra 15p não mostrou diferença estatística para a amostra 10p segundo teste de Tukey. O G'' das amostras (Figura 18) também aumentou com o aumento da parcela de polpa na sobremesa. Em altos valores de frequência as amostras 5p, 10p e 15p são idênticas, em toda faixa 10p e 15p são iguais (Tukey).

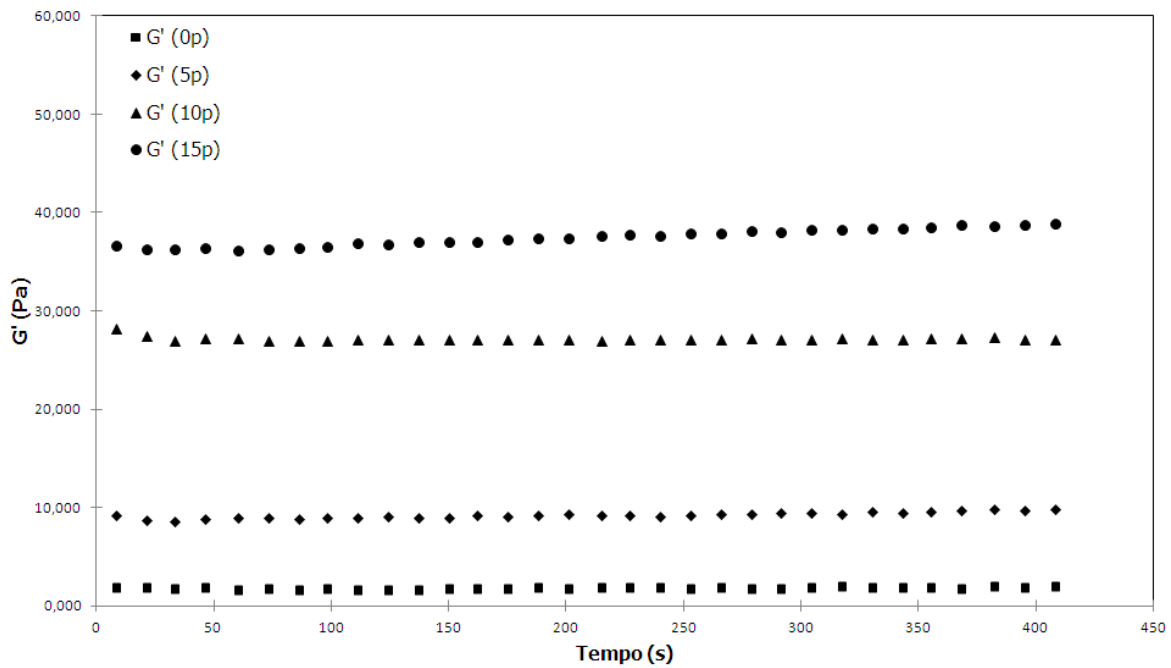


Figura 16. Módulo elástico (0p, 5p, 10p, 15p) em varredura de tempo (8 min, $1 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$, 15 %).

Não foi encontrado nenhum trabalho sobre reologia de sobremesas à base de soja; o produto encontrado mais similar correspondeu a um “*pudding*” elaborado por Lim e Narsimham (2006), assim um comparativo com dados da literatura foi impraticável devido à natureza distinta dos produtos.

Sobremesas lácteas, estudadas por Tarrega et al. (2004), Tarrega e Costell (2006a) e Tarrega e Costell (2006b) foram consideradas géis verdadeiros, porém comparativos com essas amostras também foram inviáveis, pois as medições feitas por esses autores ocorreram na região de viscoelasticidade linear das amostras, diferente do apresentado neste trabalho.

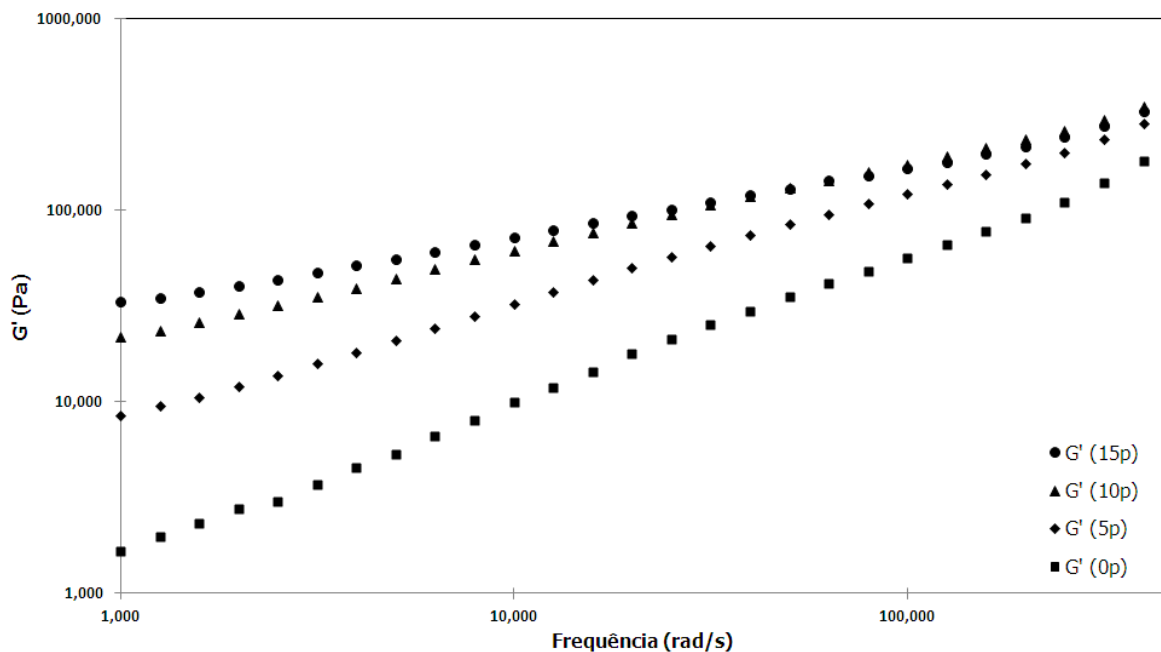


Figura 17. Comparação do G' das amostras em varredura de frequência ($1 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ a $500 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$; 15 %).

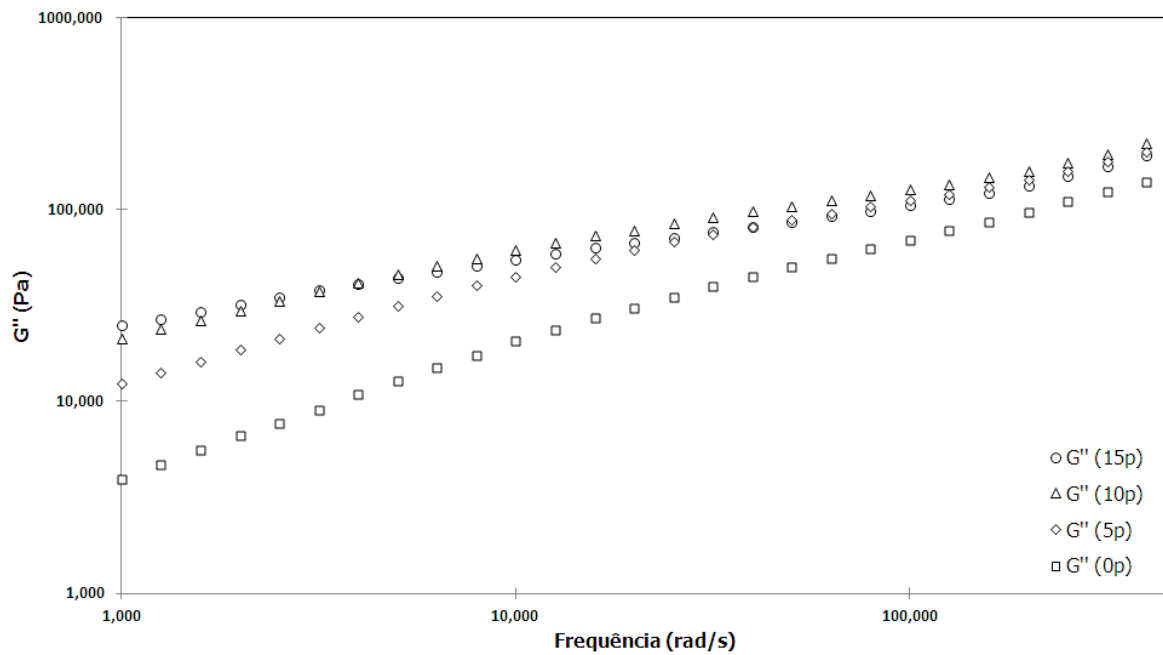


Figura 18. Comparação do G'' das amostras em varredura de frequência (1 rad.s^{-1} a 500 rad.s^{-1} ; 15 %).

4.3.2 Testes Reológicos Estacionários

Foram executados testes reológicos estacionários a $25 \text{ }^\circ\text{C}$, $40 \text{ }^\circ\text{C}$ e $60 \text{ }^\circ\text{C}$ para as amostras 0p e 10p. As curvas de escoamento podem ser visualizadas na Figura 19. Os dados foram adaptados ao modelo de Ostwald-De-Waele (Lei da Potência, Equação 2) e os parâmetros de ajuste dessa equação, assim como o valor do coeficiente de determinação estão apresentados na s na Tabela 11.

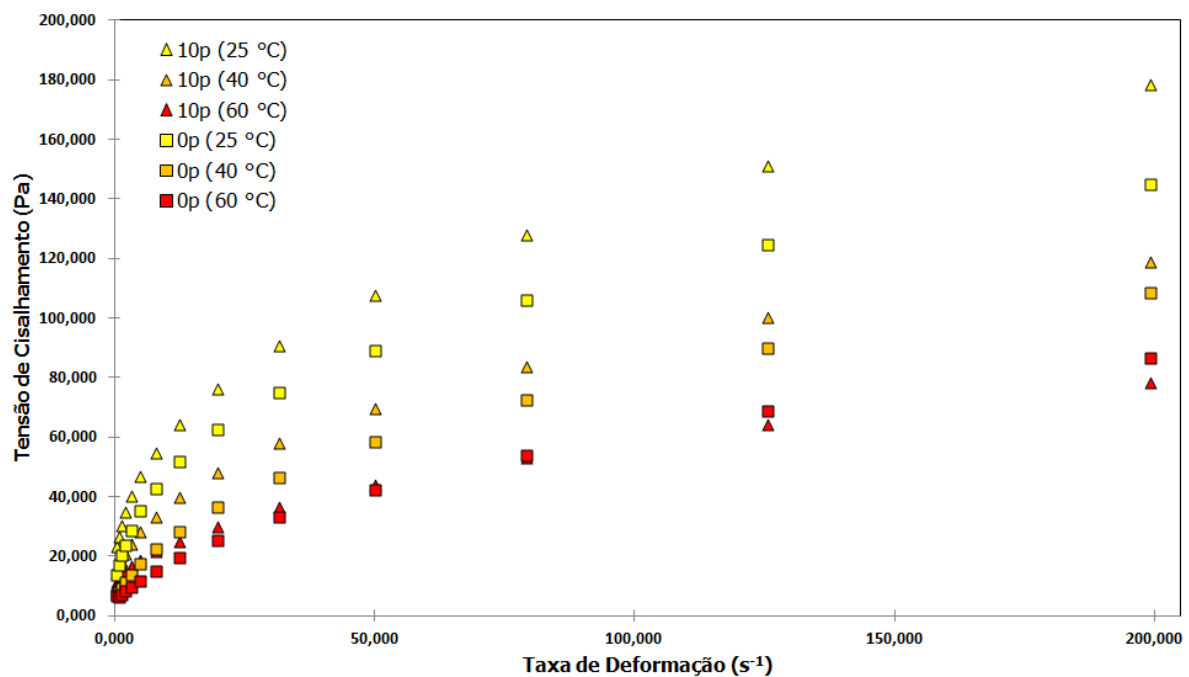


Figura 19. Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para amostras 0p e 10p a $25 \text{ }^\circ\text{C}$, $40 \text{ }^\circ\text{C}$ e $60 \text{ }^\circ\text{C}$.

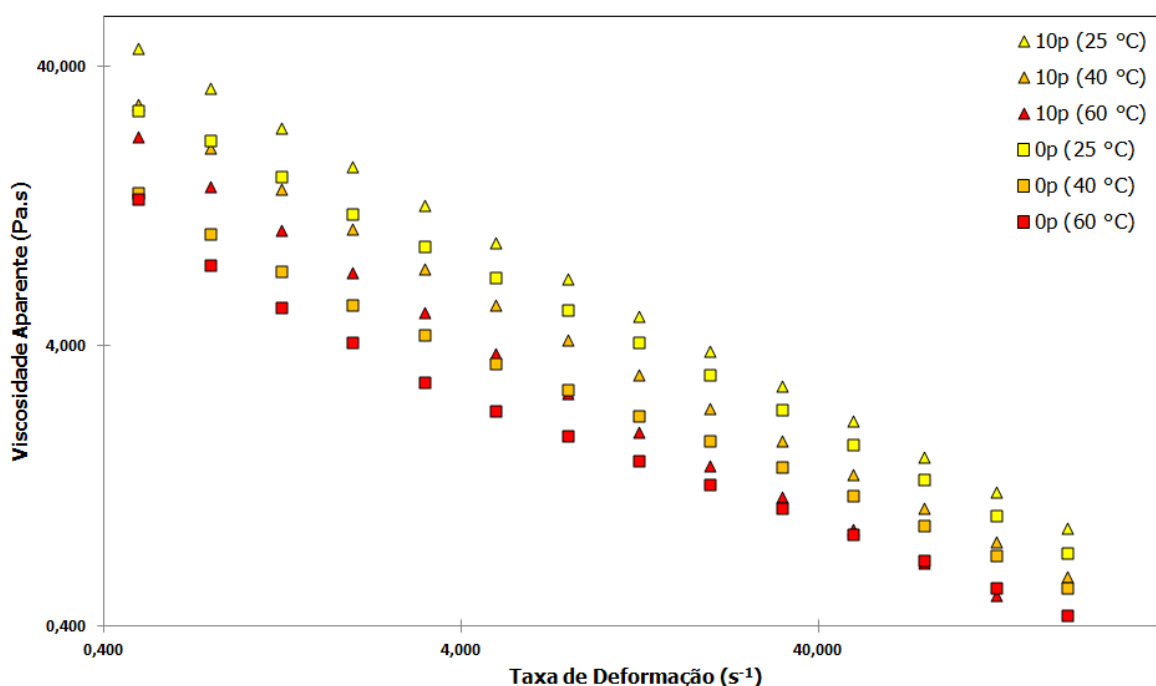
Tabela 7. Parâmetros de ajuste e coeficiente de correlação de testes reológicos estacionários para 0p e 10p a 25 °C para lei de Oswald.

Formulação	K	n_1	R ²
0p	18,523 ± 0,001	0,3973 ± 0,0002	0,9991 ± 0,0001
10p	37,183 ± 0,366	0,2434 ± 0,0086	0,9947 ± 0,0014

Observou-se que as amostras comportaram-se como um fluido pseudoplástico. Como mencionado no Capítulo 2, polpas de frutas em vários artigos científicos mostraram esse desvio do fluido newtoniano. Pesquisas com sobremesas lácteas também mostraram resultados semelhantes (Doublier e Durand, 2008; Tarrega et al.,2011) . Abu-Jdayil et al. (2004) trabalharam com sistemas de amido-leite-açúcar e Sikora et al. (2007) estudaram “*dessert sauces*” encontrando sistemas pseudoplásticos. A literatura mostra que alimentos de diferentes naturezas tendem a demonstrar pseudoplasticidade.

As magnitudes das tensões de cisalhamento na amostra 10p foram maiores do que na 0p para as temperaturas de 25 e 40 °C; no entanto, na temperatura de 60 °C as curvas de escoamento não apresentaram diferença estatística. Na temperatura de pasteurização, 60 °C, houve desestabilização estrutural da sobremesa de tal forma que os valores de tensão equipararam-se aos da amostra controle, 0p. Para todos os testes houve diminuição da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação com o aumento da temperatura. A solubilização de compostos antes gelatinizados e a diminuição viscosidade de líquidos com a temperatura pode estar contribuindo para esse comportamento.

As curvas de viscosidade aparente em função da taxa de cisalhamento para as amostras 0p e 10p estão na Figura 20.

**Figura 20.** Gráfico da taxa de deformação para as amostras 0p e 10p a 25 °C, 40 °C e 60 °C.

A linearidade dessas curvas em escala logarítmica permitiu a aplicação do modelo de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência) com segurança.

Os dados apresentados na Figura 21, em uma situação hipotética de industrialização da sobremesa alvo de estudo, seriam relevantes na otimização do processo para diminuição de custos e de gastos energéticos. É possível observar que a baixas taxas de deformação, as amostras 0p e 10p apresentaram maiores diferenças nos valores de viscosidade, sendo a amostra 10 p mais viscosa. Em altas deformações os valores se equivalem para as duas amostras. Como os processos industriais acontecem, geralmente, em taxas de deformações intermediárias e altas, os dados relacionados à viscosidade aparente são relevantes nessas faixas de estudo ($10-1000 \text{ s}^{-1}$). Além disso, com o aumento da temperatura, houve redução nos valores da viscosidade, mostrando que as amostras foram sensíveis a essas mudanças.

5 Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros

Com este trabalho foi possível avaliar a estabilidade e as propriedades físicas e reológicas de uma sobremesa à base de soja com diferentes concentrações de polpa de banana.

As bananas classificadas como amarelas, por seu grau de maturação, foram submetidas a testes de branqueamento, dos quais apenas um foi utilizado (EDTA) por manter intacta a aparência natural da polpa. A etapa de branqueamento modificou o conteúdo de sólidos solúveis e o grau de escurecimento da polpa.

As formulações de sobremesa diferiram quase na totalidade dos testes, entretanto o resultado para o índice de sedimentação foi inconclusivo. O pH e a CRA diminuíram com o aumento da concentração de polpa, enquanto que o conteúdo de sólidos solúveis aumentaram. As análises de microscopia mostraram separação em duas fases e diminuição de tamanho de aglomerado em função da porcentagem de polpa na formulação.

Quanto às análises reológicas em regime dinâmico, não foi possível encontrar a região de viscoelasticidade das amostras nas varreduras de deformação. Através das varreduras de frequência, detectou-se que apenas a amostra 15 p foi considerada gel na deformação de 15 %, e pelas varreduras de tempo, executadas após consecutivas varreduras de frequência foi possível afirmar que as amostras se mantiveram estáveis com o tempo.

O ajuste dos dados obtidos nas curvas de escoamento ao modelo da Lei da Potência foi satisfatória, visto que os valores do coeficiente de determinação foram acima de 0,99.

Diante dos resultados encontrados, as sugestões deixadas para trabalhos futuros são:

- avaliar a tixotropia no sistema estudado;
- analisar diferentes tratamentos para branqueamento das polpas;
- buscar correlações entre variáveis reológicas e outras variáveis físicas relacionadas à estabilidade do produto;
- executar análises reológicas na temperatura de armazenagem de produto, ou seja, em temperaturas de refrigeração;
- melhorar a formulação da amostra a fim de obter um produto mais estável, com maior vida de prateleira;
- fazer análise sensorial dos produtos formulados;
- correlacionar dados sensoriais relacionados à textura do alimento com dados reológicos;

6 Referências

- ABDELRAHIM, K. A.; RAMASWAMY, H. S. High temperature/pressure rheology of carboxymethyl cellulose (CMC). *Food Research International*, Ste. Anne de Bellevue, v. 28, n. 3, p. 285-290, 1995.
- ABU-JDAYIL, B. et al. Rheology of starch-milk-sugar systems: effect of heating temperature. *Carbohydrate Polymers*, v. 55, p. 307-314, 2004.
- ALVAREZ, M. D. et al. A rheological characterization of mashed potatoes enriched with soy protein isolate. *Food Chemistry*, Madrid, 9 p. 2011.
- AOAC - Association of Official Analytical Chemist. *Official Methods of analysis: 930.04. Moisture Content in Plants*, v. 1, p.949, 1990.
- ARLTOFT, D. et al. Relating the microstructure of pectin and carrageenan in dairy desserts to rheological and sensory characteristics. *Food Hydrocolloids*, v. 22, p. 660-673, 2008.
- AURORE, G. et al. Bananas, raw materials for making processed food products. *Food Science and Technology*, v. 20, p. 78-91, 2009.
- BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. et al. *Water Activity in Foods: fundamentals and applications*. Ames: Blackwell Publishing. 435 p. 2007.
- BISTANY, K. L.; KOKINI, J. L. Comparison of steady shear rheological properties and small amplitude dynamic viscoelastic properties of fluid food materials. *Journal of Texture Studies*, v. 14, p. 113-124, 1983.
- BORGES, A. L. et al. *O Cultivo da Bananeira*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Cruz das Almas: EMBRAPA Mandioca e Fruticultura. 279 p. 2004.
- CEASAMINAS. Disponível em: <<http://www.ceasaminas.com.br/agroqualidade/banana.asp>>. Acesso em: 29/05/2012.
- CHAI SAWANG, M.; SUPHANTHARIKA, M. Pasting rheological properties of native and anionic tapioca starches as modified by guar gum and xanthan gum. *Food Hydrocolloids*, v. 20, p. 641-649, 2006.
- CHAVES, J.B.P. *Noções de microbiologia e conservação de alimentos*. Viçosa: UFV, 1993. 113p.
- CHAVES, M.C.V. et al., Caracterização físico-química do suco de acerola. *Revista de Ciência e Biologia da Terra*, Volume 4- Número 2 - 2º Semestre, 2004.
- CHEN, Y. et al. Rheological characterization of k-carrageenan/locust bean gum mixtures, *Carbohydrate Polymers*, v. 46, p. 117-124, 2001.
- COX, W. P.; MERZ, E. H. Correlation of dynamics and steady flow viscosities. *Journal of Polymer Science*, v. 28, p. 619-622, 1958.

DAUBERT, C. R.; FOEGEDING, E. A. Rheological Principles for Food Analysis. In: NIELSEN, S. S. Food Analysis. Food Science Text Series. Springer Science, 1998.

DOUBLIER, J-L.; DURAND, S. A rheological characterization of semi-solid dairy systems. Food Chemistry, v. 108, p. 1169-1175, 2008.

DUNSTAN, D. E. et al. Structure and rheology of k-carrageenan/locust bean gum gels. Food Hydrocolloids, Werribee, v. 15, p. 475-484, 2001.

EMBRAPA. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia40/AG01/arvore/AG01_48_41020068055.html>. Acesso em: 02/04/2012b.

EMBRAPA. Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/index.php?op_page=294&cod_pai=16>. Acesso em: 14/04/2012a.

ENGELEN et al. The effect of oral and product temperature on the perceptions of flavor and texture attributes of semi-solids. Appetite, v. 41, n.3, p. 273-281, 2003.

FAO, 2010. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>>. Acesso em: 28/04/2012.

FERREIRA, G. M. Estudo das Propriedades Reológicas do Sistema de Polpa de Cupuaçu – Biopolímeros. 2008. 107 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Curso de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

FISCHER, P.; WINDHAB, E. J. Rheology of food materials. Current Opinion in Colloid & Interface Science, Zurich, v. 16, p. 36-40, 2011.

FRIEDMAN, M.; BRANDON, D. L. Nutritional and Health Benefits of Soy Proteins. Journal of Agricultural and Food Chemistry, Washington, v. 46, n. 3, p. 1069-1086, 2001.

FUJIMOTO, J. et al. Formação de Multicamadas de Polissacarídeos e Proteína. Química Nova, São Paulo, v. 25, n. 5, p. 757-761, 2002.

GARCIA, M. C. et al. Composition and characterization of soybean and related products. Food Science and Nutrition. P. 361-391, 1997.

GIAMPIERI, F. et al. The strawberry: Composition, nutritional quality and impact on human health. Nutrition, v. 28, p. 9-19, 2012.

GUERRERO, S. N.; ALZAMORA, S. M. Effect of pH, Temperature and Glucose Addition on Flow Behaviour of Fruit Purées I. Banana Purée. Journal of Food Engineering, v. 33, p. 239-256, 1997.

GUZMÁN-GONZÁLEZ, M. et al. Influence of skimmed milk concentrate replacement by dry dairy products in a low-fat set-type yoghurt model system. Use of caseinates, co-precipitate and blended dairy powders. Journal of the Science of Food and Agriculture, Madrid, v. 80, p. 433-438, 2000.

HAMINIUK, C. W. I. Comportamento reológico e fracionamento péctico das polpas integrais de araçá (*Psidium catlleianum sabine*) e amora-preta (*Rubus spp*). 2005. Tese (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de alimentos, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

HAN, X. Z. et al. Influence of maize starch granule-associated protein on the rheological properties of starch pastes. Part II. Dynamic measurements of viscoelastic properties of starch pastes. *Carbohydrate Polymers*, v. 49, n. 3, p. 323-330, 2002.

INTERNATIONAL FOOD ADDITIVES COUNCIL. Disponível em: <http://www.foodadditives.org/food_gums/common.html>. Acesso em: 13/05/2012.

IZIDORO, D. et al. Influence of green banana pulp on the rheological behaviour and chemical characteristics of emulsions (mayonnaises). *Science Direct*, v. 41, p. 1018-1028, 2007.

JARAMILLO, P. et al. Effect of pH on the properties of soy protein-pectin complexes. *Food Research International*, v. 44, p. 911-916, 2011.

KÁLAB et al. Microscopy and other imaging techniques in food structure analisys. *Trends in Food Science & Technology* June 1995, Vol. 6, p. 177-186, 1995.

KECHINSKI, C. et al. Rheological behavior of blueberry (*Vaccinium ashei*) purees containing xanthan gum and fructose as ingredients. *Food Hydrocolloids*, v. 25, p. 299-306, 2011.

KHALIL, K. E. et al. Rheological Behaviour of Clarified Banana Juice: Effect of Temperature and Concentration. *Journal of Food Engineering*, v. 10, p. 231-240, 1989.

KIM, H-A. et al. Soy Extract is more Potent than Genistein on Tumor Growth Inhibition. *Anticancer Research*, v. 28, p. 2837-2842, 2008.

LEWICK, P. P. Water as the determinant of food engineering properties. A review. *Journal of Food Engineering*, v. 61, p. 483-495, 2004.

LIM, S. L., NARSIMHAM, G. Pasting and rheological behavior of soy protein-based pudding. *Science Direct*, v. 39, p. 343-349, 2006.

LUO, Y.; BARBOSA, G. Enzymatic browning and its inhibition in new apple cultivars slices using 4-hexylresorcinol in combination with ascorbic acid. *Food Science and Technology International*, v. 3, n. 3, p. 195–201, 1997.

MATHLOUTHI, M. Water content, water activity, water structure and the stability of foodstuffs. *Food Control*, v. 12, p. 409-417, 2001.

MELO, A. A. M.; VILAS BOAS, E. V. B. Inibição do escurecimento enzimático de banana e maçã minimamente processada. *Ciência e Tecnologia Alimentar*, v. 26, n. 1, p. 110-115, Campinas, 2006.

MERCALI, G. D. Estudo da Transferência de Massa na Desidratação Osmótica de Banana. 2009. 163 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia,

Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

PELEGRINE, D. H. et al. Rheological Behavior of Pineapple and Mango Pulps. *Lebensm-Wiss*, v. 35, p. 645-648, 2002.

RAHMAN, M.S. Food preservation: overview. In: RAHMAN, M.S. (Ed.), *Handbook of Food Preservation*, 2ª ed. p. 3–18, Boca Raton, FL, USA, 2007.

RODRIGUES, R. M. H. P. et al. Análise sensorial de doces em pasta elaborados com polpa e/ou casca de banana. *B. CEPPA*, v. 14, n. 1, p. 33-48, Curitiba, 1996.

ROESCH, R. R.; CORREDIG, M. Characterization of Oil-in-Water Emulsions Prepared with Commercial Soy Protein Concentrate. *Journal of Food Science: Food Chemistry and Toxicology*, v. 67, n. 8, p. 2837-2842, 2002.

SANCHES, V. E. et al. Rheological Properties of Food Gums as Related to their Binding Capacity and to Soy Protein Interaction. *Lebensm-Wiss*, v. 28, p. 380-385, 1995.

SANTIAGO, M. C. N. Swelling-solubility characteristics, granule size distribution and rheological behavior of banana (*Musa paradisiaca*) starch. *Carbohydrate Polymers*, v. 56, p. 65-75, 2004.

SCHRAMM, G. *A Practical Approach to Rheology and Rheometry*. Gebrueder HAAKE GmbH, 2ª ed., Karlsruhe, 2000.

SIKORA, M. et al. Rheological and sensory properties of dessert sauces thickened by starch-xanthan gum combinations. *Journal of Food Engineering*, v. 79, p. 1144-1151, 2007.

SILVA, V. M. et al. The effect of homogenization on the stability of pineapple pulp. *International Journal of Food Science and Technology*, v. 45, p. 21-27-2133, 2010.

SONG, Y. et al. Polyphenolic Compound and the Degree of Browning in Processing Apple Varieties. *Agricultural Sciences in China*, v. 6, n. 5, p. 607-612, 2007.

STEFFE, J. F. *Rheological Methods in Food Process Engineering*. Freeman Press, East Lansing, 1996.

SUN, J. et al. Antioxidant and Antiproliferative Activities of Common Fruits *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 50, p. 7449-7454, 2002.

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

TARREGA, A et al. Rheological characterization of semisolid dairy desserts. Effect of temperature. *Food Hydrocolloids*, v. 19, p. 133-139, 2004.

TARREGA, A. et al. Influence of the chain-length distribution of inulin on the rheology and microstructure of prebiotic dairy desserts. *Journal of Food Engineering*, v. 104, p. 356-363, 2011.

TARREGA, A.; COSTELL, E. Effect of addition on rheological and sensory properties of fat-free starch-based dairy desserts. *International Dairy Journal*, v. 16, p. 1104-1112, 2006b.

TARREGA, A.; COSTELL, E. Effect of composition on the rheological behavior and sensory properties of semisolid dairy dessert. *Food Hydrocolloids*, v. 20, p. 914-922, 2006a.

TIZIANI, S.; VODOVITZ, Y. Rheological effects of soy protein addition to tomato juice. *Food Hydrocolloids*, v. 19, p. 45-52, 2005.

VERBEKEN, D. et al. Interactions between k-carrageenan, milk proteins and modified starch in sterilized dairy desserts. *International Dairy Journal*, v. 16, p. 482-488, 2006.

ZHANG, P. et al. Banana starch: production, physicochemical properties and digestibility – a review. *Carbohydrate Polymers*, v. 59, p. 443-458, 2005.