



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

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DE SOLUÇÕES DE INULINA
E FOS POR ANÁLISE DE TEXTURA E COMPORTAMENTO
REOLÓGICO**

MARIANA FERREIRA SANCHES

**FLORIANÓPOLIS – SC
JULHO DE 2010**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

MARIANA FERREIRA SANCHES

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DE SOLUÇÕES DE INULINA
POR ANÁLISE DE TEXTURA E COMPORTAMENTO
REOLÓGICO**

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

Orientadores: Prof. Dr. Marinho B. Quadri
Prof^a. Dr^a. Mara G. Novy Quadri

**FLORIANÓPOLIS – SC
JULHO DE 2010**

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que ilumina e guia todos os meus passos, pelas minhas conquistas e também pelas dificuldades que me fizeram crescer e ser mais forte.

Muito obrigada Mãe e Pai por todo amor incondicional, apoio e confiança, que mesmo de longe, sempre me incentivaram a lutar e alcançar os meus objetivos; ao meu irmão pelo amor, carinho e conselhos; aos meus familiares de Minas e São Paulo, pelo carinho e incentivo ao longo destes anos.

Aos meus orientadores Mara Gabriela Novy Quadri e Marinho Bastos Quadri pela oportunidade, paciência e dedicação e pela contribuição para o meu crescimento acadêmico e principalmente pessoal.

Agradeço a todos os meus queridos amigos de Florianópolis, em especial à Cássia, aos amigos do Coral da UFSC e Banda Musical Alternativa, pelos momentos musicais de muita alegria, essenciais para me dar forças nos momentos mais difíceis.

Aos amigos do Laboratório de Sistemas Porosos e Laboratório de Controle de Processos, especialmente Natália, Solange, Raquel, Gabriela, Mariana, Andreia, Daniele, Taís, Flávia, Sílvia e Cristiane, pela ajuda, apoio, carinho e pela amizade sincera, que fizeram toda a diferença para a realização deste trabalho.

Ao professor Pedro L. M. Barreto, pela ajuda e amizade e disponibilizar o uso do texturômetro do Laboratório de Ciência e Tecnologia de Alimentos para a realização dos ensaios de textura.

Ao professor Dachamir Hotza, por disponibilizar o uso do viscosímetro do Laboratório de Materiais (CERMAT) e à Verônica pela ajuda na realização dos ensaios reológicos.

Ao Aylton H. Sueta da empresa Clariant S.A., pelas amostras de inulinas fornecidas e prestatividade.

Ao querido Edvilson, por tudo que ele faz por nós e sua “sagrada” paciência.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à UFSC, pelo auxílio financeiro e oportunidade de trabalho.

Enfim, a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a concretização deste trabalho. Muito Obrigada!

*"Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo,
qualquer um pode começar agora e fazer um novo fim..."*

*A árvore nascente aguarda-te a bondade e a tolerância
para que te possa ofertar os próprios frutos em tempo certo."*

(CHICO XAVIER)

O mercado para produtos com apelo saudável ou conteúdo diferenciado de nutrientes (baixa caloria, enriquecidos com fibras, etc.) continua a crescer. A inulina e os frutooligossacarídeos (FOS) permitem ao fabricante a oportunidade de satisfazer essas duas demandas ao mesmo tempo, pois além de suas propriedades funcionais e nutricionais, oferecem também benefícios tecnológicos como substituto do açúcar (FOS) e gordura (inulina) em alimentos. Considerados como fibras solúveis, e encontrados em diversos vegetais, oferecem uma gama de benefícios nutricionais e tecnológicos. O uso de inulina e FOS como espessantes está associado à capacidade de aumentar a viscosidade de um líquido, resultando em características organolépticas e texturas desejáveis em alimentos. Este trabalho estudou o comportamento reológico de diferentes soluções de inulina e FOS comerciais, a diferentes concentrações e temperaturas de 25, 40 e 85°C. Os dados experimentais dos reogramas foram ajustados aos modelos reológicos de Newton, Ostwald-De-Waele, Herschel-Bulkley e Casson. Na maioria dos casos, todos os modelos apresentaram bons parâmetros de ajuste aos dados reológicos, com elevados valores do coeficiente de correlação. O modelo de Newton descreveu adequadamente o comportamento reológico das soluções de inulina e FOS, à exceção de inulina GR à concentração 30% m/m, que nesta condição se encontra na forma de gel, com consequente estruturação e comportamento tixotrópico. O comportamento gelificante da inulina de alta massa molecular foi avaliado pela medida do Índice Volumétrico de Gel (VGI). Utilizou-se planejamentos experimentais completos com pontos axiais, de modo a avaliar a influência da concentração de inulina, do pH e da temperatura. A agitação foi considerada como uma variável de blocagem. Influíram significativamente no VGI os efeitos dos blocos (agitação), temperatura e concentração, tanto os termos lineares como quadráticos. Posteriormente foi realizada a análise da textura dos géis através dos parâmetros como a força do gel, consistência, força de adesão e adesividade, de modo a descrever suas características texturais em diferentes situações de processo. De acordo com os resultados analisados para a textura, todos os parâmetros estudados dependeram significativamente dos termos concentração linear e temperatura quadrática.

Palavras-chave: inulina, FOS, reologia, análise instrumental de textura, índice volumétrico de gel.

The appeal for healthy products or differentiated nutrient content (low calories, fiber fortified, etc.) on the product market is increasing. Inulin and fructooligosaccharides (FOS) give opportunity to manufacturers to satisfy both demands at same time, because in addition to their functional and nutritional properties, they also offer technological benefits as sugar (FOS) and fat (inulin) substitutes in foods. They are considered soluble fibers and are found in several plants, offering a range of nutritional and technological benefits. The use of inulin and FOS as thickeners is associated with their ability to increase the viscosity of a liquid, resulting in organoleptic characteristics and desirable textures in foods. This work presents a study of rheological behavior of different solutions of commercial inulin and FOS at different concentrations and at temperatures of 25, 40 and 85°C. The experimental data of the rheograms were adjusted to rheological models of Newton, Ostwald-De-Waele, Herschel-Bulkley and Casson. In most cases, all models showed good adjusted parameters to rheological data with high correlation coefficients. Newton's model adequately described the rheological behavior of inulin and FOS solutions, with the exception of Inulin GR at a concentration of 30% (m/m) whose condition presents itself as a gel consequently, with a thixotropic structure and behavior. The gel forming behavior of high molecular mass inulin was evaluated by measuring the Volumetric Gel Index (VGI), using complete experimental planning with axial points to evaluate the influence of the inulin concentration, pH and temperature. Shaking was considered as a block variable. VGI was influenced significantly by the effect of blocks (shaking), temperature and concentration as much as its linear and quadratic terms. Posteriorly, the analyses of the gel structure, through parameters like the gel strength, consistency, adhesion strength and adhesivity was evaluated in a way to describe its textural characteristics in different situations of the experimental process. In accordance to the analyzed results for texture, all the studied parameters depended significantly on the linear concentration and quadratic temperature terms.

Keywords: inulin, FOS, rheology, instrumental analysis of texture, volumetric gel index.

1 - INTRODUÇÃO.....	23
1.1 Importância do Estudo	23
1.2 Objetivos	24
1.3 Estrutura do Trabalho	24
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	27
2.1 Inulina	27
2.1.1 Histórico	27
2.1.2 Definição	27
2.1.3 Classificação e Aplicações Tecnológicas	28
2.1.4 Ocorrência Natural e Comercial	29
2.1.5 Inulina e Saúde	32
2.2 Colóides - Gel de Inulina	33
2.3 Textura.....	35
2.3.1 Análise Instrumental de Textura (TPA).....	36
2.3.2 Textura em Alimentos	37
2.4 Reologia	38
2.4.1 Classificação Reológica dos Fluidos	38
2.4.2 Modelos Reológicos	42
2.4.3 Propriedades Reológicas da Inulina.....	44
2.5 Planejamento Experimental	45
3 - Materiais e Métodos.....	47
3.1 Matéria-Prima	47
3.2 Caracterização Reológica de Inulina.....	47
3.3 Formação de Gel.....	48
3.3.1 Índice Volumétrico de Gel (VGI).....	48
3.3.2 Análises do Perfil de Textura dos Géis de Inulina (TPA)....	49

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
4.1 Caracterização Reológica de Soluções de Inulina e FOS	53
4.1.1 Caracterização Reológica de Inulina de cadeia longa (Beneo [®] GR)	53
4.1.2 Caracterização reológica de inulina de cadeia curta - FOS (Beneo [®] P95).....	63
4.2 Géis de Inulina.....	71
4.2.1 Índice Volumétrico de Gel (VGI).....	71
4.2.2 Análise de Textura.....	75
CONCLUSÕES	89
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Estrutura química da inulina. (ROBERFROID, 1993).	28
Figura 2.2 - Fluxograma do processo de obtenção de inulina e FOS (xarope e em pó) comerciais.	32
Figura 2.3 - Esquema da transição sol-gel: (a) formação de gel particulado e (b) formação de gel polimérico (ALFAYA e KUBOTA, 2002).	35
Figura 2.4 - Reograma para fluidos dependentes do tempo (SHARMA et al., 2000).	41
Figura 3.1 - Perfil de textura típica para géis de inulina através da força(g) versus o tempo(s) (PONS e FISZMAN, 1996).	50
Figura 4.1 - Viscosidade em função da taxa de deformação para soluções de inulina GR nas concentrações de (a) 2%, (b) 5%, (c) 10%, (d) 15% e (e) 20%, nas temperaturas estudadas: 25, 40 e 85°C. ...	54
Figura 4.2 - Resultado dos ajustes aos modelos de Newton, Herschel-Bulkley, Ostwald-De-Waele e Casson para os dados de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para inulina GR nas concentrações de (a) 2%, (b) 5%, (c) 10%, (d) 15%, e (e) 20%, a 25°C.	59
Figura 4.3 - Viscosidade em função da taxa de deformação em todas as temperaturas estudadas, para a solução de inulina GR na concentração de 30%.	60
Figura 4.4 - Resultado dos ajustes aos modelos de Newton, Herschel-Bulkley, Ostwald-De-Waele e Casson a 25°C, para os dados de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação, para a solução de inulina GR na concentração de 30%.	61
Figura 4.5 - Comportamento tixotrópico para a solução 30% de inulina GR, a 25°C, através da curva de viscosidade em função da taxa de deformação.	62
Figura 4.6 - Viscosidade em função da taxa de deformação para soluções de FOS (inulina de baixa massa molecular) nas concentrações de (a) 10%, (b) 20%, (c) 40%, (d) 60% e (e) 80%, nas temperaturas estudadas: 25, 40 e 85°C.	66
Figura 4.7 - Resultado dos ajustes aos modelos de Newton, Herschel-Bulkley, Ostwald-De-Waele e Casson para os dados de	

tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para FOS nas concentrações de (a) 10%, (b) 20%, (c) 40%, (d) 60% e (e) 80%, a 25°C.....	71
Figura 4.8 - Formação de gel de inulina em tubos de vidro graduados, após 24 horas.	72
Figura 4.9 - Curvas de nível para o VGI em função: a) da Temperatura e pH, para C=25% e b) da Concentração e Temperatura, a pH=5.	75
Figura 4.10 - Superfície de resposta para a Força do Gel em função da concentração e temperatura.	78
Figura 4.11 - Curvas de nível para a Força do Gel em função da concentração e temperatura.....	79
Figura 4.12 - Superfície de resposta para a Consistência em função da concentração e temperatura.	81
Figura 4.13 - Curvas de nível para Consistência em função da concentração e temperatura.....	81
Figura 4.14 - Superfície de resposta para a Força de Adesão em função da Concentração e Temperatura.	83
Figura 4.15 - Curvas de nível para a Força de Adesão em função da Concentração e Temperatura.	84
Figura 4.16 - Superfície de resposta para a Adesividade em função da concentração e temperatura.	86
Figura 4.17 - Curvas de nível para a Adesividade em função da Concentração e Temperatura.	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Inulina e oligofrutose (% do peso fresco) em plantas utilizadas na alimentação humana (HAULY <i>et al.</i> , 2002).	31
Tabela 3.1 - Valores das variáveis (fatores) codificadas usadas no planejamento experimental para a formação do gel de inulina (VGI)...	49
Tabela 3.2 - Valores das variáveis codificadas usadas no planejamento experimental para a formação do gel de inulina.	51
Tabela 4.1 - Resultados do teste de Duncan para as médias de viscosidade em função da concentração e da temperatura, para as soluções de inulina GR.....	55
Tabela 4.2 - Parâmetros reológicos para soluções de inulina GR a 25°C, obtidos através do ajuste aos diferentes modelos.	56
Tabela 4.3 - Resultados do teste de Duncan para a viscosidade em função da concentração e da temperatura, para as soluções de inulina P95.	67
Tabela 4.4 - Parâmetros reológicos para o FOS a 25°C, obtidos através do ajuste aos diferentes modelos.....	68
Tabela 4.5 - Índice Volumétrico de Gel (VGI) para inulina GR, observados em tubos de vidro graduados e o planejamento experimental utilizado.	72
Tabela 4.6 - Análise de variância (ANOVA) para as seguintes variáveis: temperatura, temperatura quadrática, concentração e concentração quadrática e seus efeitos.	73
Tabela 4.7 - Efeitos das variáveis sobre o VGI.	73
Tabela 4.8 - Textura do gel de inulina segundo planejamento fatorial composto.	76
Tabela 4.9 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a Força do Gel, FG.	77
Tabela 4.10 - Efeitos das variáveis sobre a Força do gel.	77
Tabela 4.11 - Análise de variância (ANOVA) para o modelo representativo da Consistência, CT.	79
Tabela 4.12 - Efeitos das variáveis sobre a Consistência.	80
Tabela 4.13 - Análise de variância (ANOVA) para a Força de Adesão, FA.....	82

Tabela 4.14 - Efeitos das variáveis sobre a Força de Adesão.	82
Tabela 4.15 - Análise de variância (ANOVA) para a Adesividade, AD.....	84
Tabela 4.16 - Efeitos das variáveis sobre a Adesividade, AD.	85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA - Análise de variância

CLAE - Cromatografia líquida de alta eficiência

DP - Graus de polimerização

FOS - Frutooligossacarídeo

GLC - Cromatografia líquida gasosa

TPA - Análise instrumental do perfil de textura

VGI - Índice volumétrico de gel

LISTA DE SÍMBOLOS

- AD - Adesividade (g.s)
C - Concentração (%)
C(L) - Concentração linear
C(Q) - Concentração quadrática
CT - Consistência (g.s)
dp - Desvio padrão
 E_a - Energia de ativação (kcal.mol^{-1})
FA - Força de adesão (g)
 F_{calc} - Constante de Fisher calculado
FG - Força do gel (g)
 F_{tab} - Constante de Fisher tabelado
GL - Graus de liberdade
 k - Índice de consistência (Pa.s^n)
 k_M - Índice de consistência ($\text{Pa}^{1/2}\text{s}^n$)
 K_C - Viscosidade plástica de Casson (Pa.s)
 K_{OC} - Tensão inicial (Pa)
 K_{OM} - Raiz quadrada da tensão inicial de cisalhamento ($\text{Pa}^{1/2}$)
LC - Limite de confiança
MQ - Média quadrática
 n - Índice de comportamento (adimensional)
 R - Constante dos gases
SQ - Soma quadrática dos resíduos
 SQ_{total} - Soma quadrática total dos fatores
T - Temperatura absoluta (K)
T(L) - Temperatura linear
T(Q) - Temperatura quadrática
t(L) - Tempo linear
 γ - Taxa de deformação (s^{-1})
 τ_0 - Tensão inicial de cisalhamento (Pa)
 τ - Tensão de cisalhamento (Pa)
 μ - Viscosidade (Pa.s)
 η_{ad} - Viscosidade aparente (Pa.s)
 V_G - Volume de gel
 V_T - Volume total
 η - Viscosidade aparente (Pa.s)
 η_{∞} - Constante empírica (Pa.s)

1.1 IMPORTÂNCIA DO ESTUDO

O mercado para produtos com apelo saudável ou com conteúdo diferenciado de nutrientes (baixa caloria, enriquecidos com fibras, etc.) continua a crescer. A inulina e os frutooligossacarídeos (FOS), por exemplo, permitem ao fabricante a oportunidade de satisfazer essas duas demandas ao mesmo tempo, pois além de suas propriedades funcionais e nutricionais, oferecem também benefícios tecnológicos como substituto do açúcar e gordura em alimentos (USHIJIMA, 2001).

Os principais grupos biologicamente ativos atualmente conhecidos como ingredientes funcionais são os prebióticos, dentre os quais se encontram as fibras solúveis e insolúveis, probióticos, ácidos graxos (ômega 3 e ômega 6), flavonóides, carotenóides, fitoesteróis e fitoestanois, prebióticos e probióticos (BELLO, 1995; TORRES, 2001).

Alimentos contendo o grupo das fibras solúveis (maçã, pêra, aveia, feijão, ervilha, lentilha) e das insolúveis (vegetais, trigo, centeio) são dos primeiros nutrientes funcionais utilizados na agregação do valor em alimentos industrializados. As fibras solúveis, por exemplo, ligam-se aos sais biliares no intestino, diminuindo sua reabsorção, o que resulta em menos colesterol disponível no fígado para a síntese de lipoproteínas (SOARES, 2000; COSTA, 2001).

Na busca de novos alimentos funcionais, os prebióticos têm sido estudados como ingredientes em vários alimentos. O termo prebiótico é utilizado para determinados componentes de alimentos vegetais, que não são digeríveis em qualquer das etapas do processo digestivo. Portanto resistentes à ação de enzimas. Os prebióticos são na verdade carboidratos ou fibras solúveis em água (hidrossolúveis), encontradas em certos alimentos. São substâncias direcionadas para alterar alguns gêneros da microbiota intestinal e não sofrem as dificuldades de sobrevivência que os microrganismos probióticos precisam enfrentar. Certos carboidratos, oligo e polissacarídeos, ocorrem naturalmente e podem ser usados como prebióticos (ROBERFROID, 1998). Já os probióticos, são microrganismos vivos, administrados em quantidades adequadas, que conferem benefícios à saúde do hospedeiro (SANDERS, 2003).

A inulina é uma fibra solúvel, considerada um ingrediente prebiótico. Comumente extraída da raiz da chicória, oferece uma gama de benefícios nutricionais e tecnológicos. Pode trazer benefícios para o sistema digestivo, pois a ingestão de ingredientes prebióticos melhora o equilíbrio da nossa microflora intestinal, aumentando significativamente a quantidade de bifidobactérias benéficas e inibindo os patógenos. O resultado disso é que o sistema digestivo trabalha melhor, aumentando a absorção dos nutrientes dos alimentos ingeridos.

A inulina pode ser utilizada como substituto da gordura, porque estabiliza a água em uma estrutura cremosa. Este gel de inulina, mantém a mesma percepção de paladar que a gordura. Também melhora a textura e o sabor. O consumo de inulina e FOS também contribui para o melhoramento do equilíbrio mineral de cálcio, magnésio e ferro, e, possivelmente, apresenta um efeito anticarcinogênico (NEVEN, 2001; MULLER, 2001; NITSCHKE e UMBELINO, 2002; MONTAN, 2003).

Além das propriedades já referidas, a inulina exibe propriedades tecnológicas interessantes como a ação estabilizante de espumas e emulsões. O seu uso como modificador natural de textura é muito proveitoso, pois este é um atributo importante de produtos alimentícios para aceitação do consumidor. Estas características estão relacionadas com o comportamento da inulina em solução aquosa em diferentes concentrações.

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho propõe determinar o processo de formação de soluções e géis de inulina comercial de baixa e alta massa molecular, FOS e inulina, provenientes da chicória (*Cichorium endivia*), através da caracterização por análises de textura e reológica. Deve-se avaliar as melhores condições para a formação do gel de inulina, tendo em vista a escassez de informações e dados na literatura e o crescente interesse por parte das indústrias alimentícias como um grande promissor substituto de gordura e/ou açúcar, bem como suas características reológicas e texturais e a determinação do índice volumétrico de gel (VGI).

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho encontra-se dividido em seis capítulos. No capítulo 2 é feita uma revisão bibliográfica que inclui o histórico da inulina, suas propriedades e aplicações tecnológicas, métodos de

determinação analítica, bem como sua importância para a saúde. Esse capítulo traz ainda aspectos sobre colóides, fundamentos e avaliação de análises de textura, reologia e sua aplicação à inulina, e por último, uma apresentação sucinta sobre a metodologia de superfície de resposta para análise de dados. O capítulo 3 apresenta os materiais e métodos utilizados para a formação de gel de inulina e suas análises de textura e reológicas, e no capítulo 4 estão os resultados e discussões deste trabalho.

No capítulo 5 têm-se as conclusões, e por fim no capítulo 6, as referências bibliográficas.

2.1 INULINA

2.1.1 HISTÓRICO

Descoberta por Rose (cientista alemã), em 1804, a partir de um extrato de *Inula helenium*, e mais tarde chamada de inulina por Thomson (1818), este composto teve elucidado, nesta data, sua síntese na planta. Suas propriedades no organismo humano foram percebidas no início do século XX. No entanto, plantas contendo frutanos, como a inulina, já eram consumidas como alimento, forragem ou na forma de medicamento.

Em 1950, o uso de plantas com altos teores de inulina era recomendado em alimentos destinados a diabéticos. Desta maneira, o interesse nas propriedades nutricionais e físico-químicas deste carboidrato é crescente (CAPITO e FILISETTI, 1999).

2.1.2 DEFINIÇÃO

A inulina é uma frutana polidispersa, constituída de uma mistura de polímeros e oligômeros superiores lineares de frutose. As unidades de β -D-frutofuranosil são mantidas entre si por ligações do tipo $\beta(2\rightarrow1)$, e possuem uma molécula de glicose na porção inicial de cada cadeia linear de frutose, a qual é unida por uma ligação tipo $(\alpha1-\beta2)$, como na molécula de sacarose.

As oligofrutoses ou frutooligossacarídeos (FOS) constituem-se de cadeias menores e possuem qualidades funcionais similares aos xaropes de sacarose ou glicose. São mais solúveis que a sacarose e fornecem entre 30-50% da doçura desta. As oligofrutoses contribuem para encorpar produtos lácteos e melhorar a umectância de produtos de panificação, diminuir o ponto de congelamento de sobremesas congeladas, fornecer crocância a biscoitos de baixo teor de gordura, agir como um aglutinante em barras nutricionais de granola, entre outros. Desse modo, elas exercem o mesmo papel que a sacarose, mas têm as vantagens de apresentar menor valor calórico e enriquecer o teor de fibras e outras propriedades nutricionais em alimentos (HAULY, 2002).

A inulina e as oligofrutoses são importantes como carboidratos de reserva em plantas, e são sintetizadas por uma grande variedade delas, aproximadamente 36.000 espécies, que representam 10 famílias.

Laurenzo *et al.* (1999) e Silva (1996) definem a inulina como um frutooligossacarídeo composto por uma mistura de oligômeros de diferentes graus de polimerização (DP) que ocorre naturalmente em produtos vegetais. Segundo os autores, as inulinas produzidas por diferentes tipos de plantas, a diferentes estágios do ciclo de crescimento da planta, ou sob diferentes condições climáticas, irão, geralmente, apresentar diferentes graus médios de polimerização. Os diferentes graus de polimerização da inulina afetam suas propriedades físicas, como viscosidade e capacidade de formação de gel, sendo, portanto, uma importante característica a ser estudada.

O grau de polimerização destas cadeias (em média 30 unidades) pode alcançar 60 unidades de frutose (ROBERFROID, 1993; VAN LOO *et al.*, 1995; QUEMENER *et al.*, 1994). A estrutura química da inulina pode ser observada na Figura 2.1.

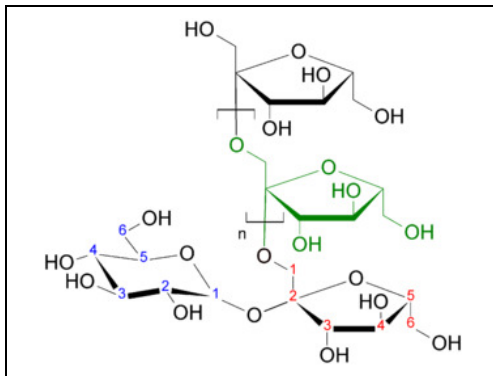


Figura 2.1 - Estrutura química da inulina. (ROBERFROID, 1993).

2.1.3 CLASSIFICAÇÃO E APLICAÇÕES TECNOLÓGICAS

A inulina e a oligofrutose extraídas da chicória são classificadas legalmente como ingredientes alimentícios (e não como aditivos) em todos os países da União Européia, bem como na Suíça e na Noruega. As autoridades na Austrália, Canadá, Israel, Japão e Nova Zelândia chegaram à mesma conclusão. Nos Estados Unidos, foi confirmado o status GRAS (*Generally Recognized As Safe*) para inulina e oligofrutose (NEVEN, 2001).

As diferenças no tamanho das cadeias da inulina e das oligofrutoses são também responsáveis pelas diferenças entre suas propriedades. Devido às cadeias mais longas, a inulina é menos solúvel que as oligofrutoses e possui capacidade de formar microcristais quando misturada com água e leite. Estes microcristais interagem para formar uma mistura cremosa e macia, promovendo a sensação de presença de gordura. Portanto, a inulina é mais indicada quando se pretende obter produtos com menor teor de gordura, enquanto oligofrutoses são adequadas para alimentos de baixa caloria, doçura e para mascarar o sabor residual de adoçantes de alta intensidade utilizados em preparações alimentares (NINESS, 1999).

A aplicação da inulina na indústria de alimentos deve-se então, principalmente, às propriedades que a tornam capaz de substituir o açúcar ou a gordura, com a vantagem de não resultar em incremento calórico. Sua utilização em produtos com baixa caloria e teor de gordura reduzido já é bastante difundida em países da Europa, nos Estados Unidos e no Canadá.

Outra característica importante da inulina está associada às suas propriedades funcionais. Atuando no sistema digestivo de maneira similar às fibras dietéticas, contribui para o incremento dos benefícios das bifidobactérias e, conseqüentemente, para a melhoria das condições de todo o sistema gastrointestinal. Devido a essas propriedades, as indústrias alimentícias e a farmacêutica têm encontrado aplicações para a inulina na produção de alimentos funcionais, compostos nutritivos e medicamentos (ROBINSON, 1995; O'BRIEN *et al.*, 2003).

A inulina tem sido utilizada com sucesso como substituto da gordura em recheios prontos, sobremesas congeladas, molhos, barras de cereais, produtos lácteos, entre outros (NEVEN, 2001; NITSCHKE e UMBELINO, 2002; BONDT, 2003; MONTAN, 2003).

2.1.4 OCORRÊNCIA NATURAL E COMERCIAL

A inulina é um carboidrato largamente encontrado na natureza, funcionando como carboidrato de reserva em muitas plantas. As plantas apresentam hidrólise da inulina endógena em moléculas de menor grau de polimerização, o que permite a sobrevivência destas plantas durante o inverno em regiões frias e moderadamente frias. Ela atua na osmorregulação da planta através de uma hidrólise parcial dos açúcares, pois uma diminuição do grau de polimerização resulta em aumento da pressão osmótica intracelular (CARPITA; KAMABUS; HOUSLEY, 1989).

Muitas plantas que contêm inulina fazem parte da dieta humana básica há muito tempo. A concentração de inulina em cada planta depende muito da variedade, do tempo decorrido desde a colheita até a utilização desta e das condições de estocagem. Na cebola, por exemplo, dependendo destes fatores, a concentração de inulina pode chegar até 50% da matéria seca (RUTHERFORD; WHITTLE, 1982; SUZUKI; CUTCLIFE, 1989).

Outros vegetais, do mesmo gênero da cebola, que contêm inulina são alho-poró e alho, os quais apresentam, respectivamente, 18-60% e 22-40% da matéria seca em inulina. Existem ainda outros vegetais que contêm consideráveis concentrações de inulina e são bastante consumidos. Entre eles, está o aspargo que contém, em base seca, cerca de 30% de inulina nas raízes (FIALA; JOLIVET, 1982), a alcachofra que apresenta 65% em inulina (OKEY; WILLIAMS, 1920), a barba de bode, com mais de 50% da matéria seca de inulina (VAN REE, 1982), e as raízes tuberosas de dália, que fornecem, em base seca, um rendimento de 50% de inulina (HAULY, 1991).

Além dos vegetais, muitos cereais também contêm inulina. Entre eles estão o trigo, a cevada, o centeio, com concentrações variando entre 1-4% (NILSSON; DAHLQUIST, 1986).

Para a maioria das fontes (alho, cebola, aspargo), as concentrações de inulina e oligofrutoses estão entre 0,3 a 6% do peso fresco, podendo chegar a 10% para a barba de bode. Entretanto, para alcachofra de Jerusalém, chicória, dália e yacon as concentrações de inulina e oligofrutoses podem chegar até 20% do peso fresco, fazendo destes vegetais importantes fontes de inulina e oligofrutoses (VORAGEN, 1998).

A Tabela 2.1 mostra as diversas plantas que contêm inulina e oligofrutose, suas partes comestíveis e a porcentagem de inulina e oligofrutose do peso fresco de cada uma delas.

Franck e Leenheer (2005) dizem que a inulina nativa sempre contém glicose, frutose, sacarose e pequenos oligossacarídeos. O termo “nativa” se refere à inulina que é extraída de raízes frescas e que antes de sua análise, passa por processo de inativação da atividade enzimática na própria planta.

Tabela 2.1 - Inulina e oligofrutose (% do peso fresco) em plantas utilizadas na alimentação humana (HAULY *et al.*, 2002).

Plantas	Parte Comestível	Inulina	Oligofrutose
Cebola	Bulbo	2-6	2-6
Alcachofra Jerusalém	Tubérculo	16-20	10-15
Chicória	Raiz	15-20	5-10
Alho-poró	Bulbo	3-10	2-5
Alho	Bulbo	9-16	3-6
Alcachofra	Folhas centrais	3-10	< 1
Banana	Fruta	0,3-0,7	0,3-0,7
Centeio	Cereal	0,5-1	0,5-1
Cevada	Cereal	0,5-1,5	0,5-1,5
Dente de leão	Folhas	12-15	NA*
Yacon	Raiz	3-19	3-19
Barba de bode	Folhas	4-11	4-11
Trigo	Cereal	1-4	1-4

*NA: Não apresenta.

O processo de produção de inulina em pó e de FOS utilizado pelas indústrias, que está representado na Figura 2.2, consiste basicamente na extração da inulina natural de raízes de chicória, de uma forma muito semelhante à extração de sacarose de beterraba (extração em água quente), seguida por refino com a tecnologia já utilizada para outros açúcares, e após evaporação e secagem por spray-drying (FRANCK, 2002).

O frutooligosacarídeo, FOS, é produzido utilizando-se duas técnicas de fabricação diferentes que oferecem produtos finais ligeiramente diferentes. Um processo utiliza a hidrólise enzimática parcial da inulina com a endo-inulinase, eventualmente seguido por atomização (*spray-drying*), e outro emprega a síntese a partir de sacarose por meio da reação de transfrutossilacção catalisada pela enzima frutossiltransferase (FTase), onde uma molécula de sacarose é hidrolisada e o radical frutossil é transferido para outra sacarose.

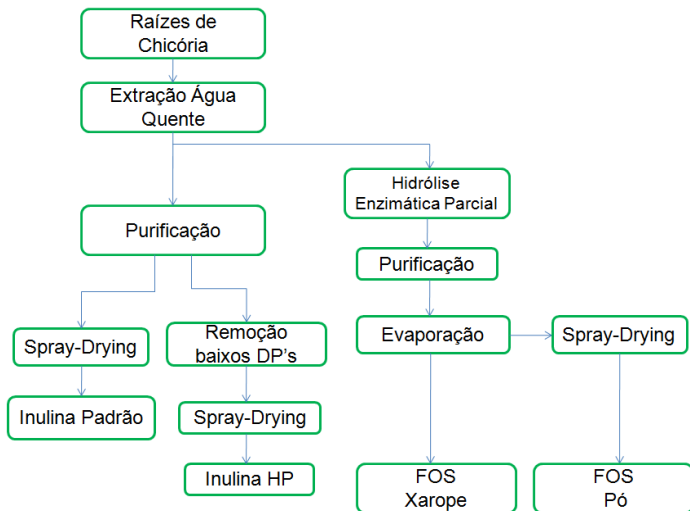


Figura 2.2 - Fluxograma do processo de obtenção de inulina e FOS (xarope e em pó) comerciais.

2.1.5 INULINA E SAÚDE

Existem evidências de que a inulina auxilia na absorção de minerais, principalmente o cálcio. Através de estudos *in vitro* com jovens que receberam 15 g/dia de inulina, Van Den Heuvel *et al.* (1998, 1999) observaram que houve aumento na absorção de cálcio pelos jovens.

Van Loo *et al.* (1998) dizem que a maior parte dos estudos indica que o consumo dos frutanos tipo inulina aumenta a absorção de cálcio e possivelmente de Mg^{2+} e Fe^{2+} .

A redução dos triglicerídeos plasmáticos, fosfolipídios e colesterol é resultado do metabolismo dos lipídios modificados pelas fibras e FOS (FIORDALISO *et al.*, 1995). Os autores chegam a essa conclusão a partir de estudos feitos em ratos que tiveram uma dieta contendo 10% de FOS e demonstraram uma diminuição das lipoproteínas de muito baixa densidade. A redução acontece pela absorção dos ácidos graxos de cadeia curta pelas membranas intestinais e posterior migração até o fígado, onde atuam como reguladores das vias metabólicas.

A inulina também está relacionada com a inibição da carcinogênese do cólon. Em um estudo desenvolvido por Reddy *et al.*

(1998) foram induzidas lesões pré-cancerosas em ratos, usando azoximetano. Foi administrada uma dieta de 10% de FOS ou inulina e após certo período foi observada uma redução significativa das lesões.

Os frutanos têm ação redutora da glicose e da insulina. Dessa forma, as células tumorais não se desenvolvem por aproveitarem pouco a glicose, além da mudança à sensibilidade à insulina, que faz parte do mecanismo de inibição do crescimento dos tumores (TAPER e ROBERFROID, 1999).

A inibição dos estágios iniciais do câncer de cólon é atribuída à formação dos ácidos de cadeia curta, mais especificamente, o ácido butírico, que promove um acréscimo da apoptose (morte das células malignas) no cólon (QUINTEROS, 2000). Para Reddy (1999), o efeito inibidor do câncer de cólon, deve-se à remoção dos carcinógenos pelas bifidobactérias, via fezes.

Além disso, há uma grande especulação sobre o uso de inulina por pessoas diabéticas, considerando a capacidade da inulina em reduzir os níveis de glicose no sangue (TAPER e ROBERFROID, 1999).

2.2 COLÓIDES - GEL DE INULINA

Colóides são misturas heterogêneas de pelo menos duas fases diferentes, com a matéria de uma das fases na forma finamente dividida (sólido, líquido ou gás), denominada fase dispersa, misturada com a fase contínua (sólido, líquido ou gás), denominada meio de dispersão. A ciência dos colóides está relacionada com o estudo dos sistemas nos quais pelo menos um dos componentes da mistura apresenta uma dimensão no intervalo de 1 a 1000 nanômetros ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). Soluções de macromoléculas são misturas homogêneas e também são consideradas colóides porque a dimensão das macromoléculas está no intervalo de tamanho coloidal e, como tal, apresentam as propriedades características dos colóides. Os sistemas coloidais vêm sendo utilizados pelas civilizações desde os primórdios da humanidade. Os povos consumiam géis de vários produtos naturais como alimento. Também os utilizavam para fabricar utensílios de cerâmica, como matéria prima na forma de dispersões de argilas, ou ainda para decorar as paredes das cavernas com motivos de animais e de caça por meio da aplicação de dispersões coloidais de pigmentos.

Graham, em 1861, introduziu os termos colóide e diálise em um estudo sobre a difusão da matéria nos estados gasoso e líquido. O termo colóide, do grego, significa cola e na época referiu-se às soluções de

goma arábica, substância sem estrutura definida e de natureza viscosa hoje conhecida como macromolécula.

O Efeito Tyndall é usado para diferenciar os colóides de soluções verdadeiras. As partículas coloidais são maiores do que o comprimento de onda da luz visível, por isso quando um feixe de luz incide sobre um sistema coloidal há uma forte dispersão de luz. Em soluções verdadeiras não ocorre o Efeito Tyndall, pois estas são transparentes e não dispersam luz.

Os princípios relacionados com os diferentes sistemas coloidais baseiam-se em propriedades comuns a todos os colóides: tamanho e elevada relação área/volume de partículas (SHAW, 1975). As partículas dispersas podem ter tamanhos diferentes e por isso o sistema coloidal é denominado polidisperso. Na prática, a maioria dos colóides obtidos pelo homem é polidispersa. Os sistemas com partículas de um mesmo tamanho são monodispersos. As macromoléculas de proteínas sintetizadas biologicamente têm todas um mesmo tamanho e massa molecular, por isso dão origem a colóides monodispersos.

Como a área de superfície da fase dispersa é elevada devido ao pequeno tamanho das partículas, as propriedades da interface entre as duas fases (dispersa e de dispersão) determinam o comportamento dos diferentes sistemas coloidais. Em soluções verdadeiras de macromoléculas ou em dispersões coloidais de partículas finas, o solvente pode ser retido pela configuração da cadeia macromolecular ou das partículas. Quando todo o solvente é imobilizado nesse processo, o colóide enrijece e é chamado de gel. Gel é um colóide no qual a interação do líquido com partículas muito finas induz o aumento da viscosidade, tornando-se uma massa com partículas organizadas no meio de dispersão formando uma rede de partículas enfileiradas como um colar (Figura 2.3). Esses colóides formam uma rede com natureza elástica e gelatinosa, tal como gelatina ou geléia de frutas, ou como um sólido rígido, como sílica gel, muito usada em embalagens como agente secante. Géis podem contrair e eliminar o solvente, processo este denominado de sinérese (OTTEWILL, 1998).

A inulina é um modificador reológico e pode ser utilizado para otimizar a textura em sistemas alimentícios. Quando dissolvida em água, forma um creme, ou gel, semelhante ao produzido por uma gordura. O gel de inulina é muito cremoso e assemelha-se à textura da gordura ao toque e sua força depende principalmente da concentração de inulina entre outros fatores (GRUHN, 1994).

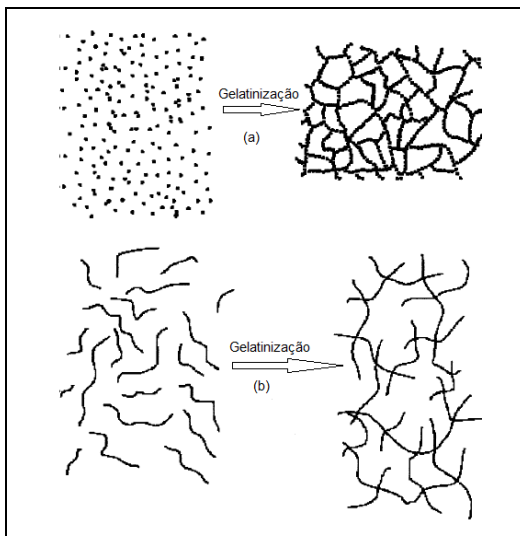


Figura 2.3 - Esquema da transição sol-gel: (a) formação de gel particulado e (b) formação de gel polimérico (ALFAYA e KUBOTA, 2002).

A disponibilidade de água é o fator que mais afeta as características do gel. Entretanto, o tamanho da cadeia de inulina (grau de polimerização), concentrações de mono e dissacarídeos presentes, tamanho das partículas de inulina; método de preparação, temperatura, adição de outros hidrocolóides e cátions mono e divalentes também podem afetar o gel (SILVA, 1996).

A formação do gel de inulina pode ser avaliada através do volume de gel formado, o qual é medido pelo Índice Volumétrico de Gel (VGI), sendo este a razão porcentual do volume de gel (V_G) formado em relação ao volume total (V_T) (WANG *et al.*, 2001).

2.3 TEXTURA

De acordo com Meilgaard *et al.* (1999), a textura é uma manifestação sensorial da estrutura dos produtos em termos de sua reação à compressão, medida como uma propriedade mecânica tal como firmeza, dureza, adesividade, coesividade, gomosidade, resiliência, entre outros, por meio da sensibilidade dos músculos da mão, dedos, língua, dentes ou lábios.

A textura sensorial também pode ser definida como a avaliação feita através dos sentidos: visão, audição e tato e algumas das características observadas são as geométricas, químicas, acústicas e térmicas.

A avaliação sensorial intervém nas diferentes etapas do ciclo de desenvolvimento de produtos, como na seleção e caracterização de matérias primas, na seleção do processo de elaboração, no estabelecimento das especificações das variáveis das diferentes etapas do processo, na otimização da formulação, na seleção dos sistemas de envase e condições de armazenamento, e no estudo de vida útil do produto final (PENNA, 1999).

Portanto, o objetivo da avaliação sensorial é detectar diferenças entre os produtos, com base nas diferenças perceptíveis na intensidade de alguns atributos (FERREIRA *et al.*, 2000).

2.3.1 ANÁLISE INSTRUMENTAL DE TEXTURA (TPA)

A textura instrumental é a resposta do produto com a aplicação de uma força, ou seja, é a avaliação objetiva da deformação.

A medida de textura por métodos instrumentais vem sendo estudada desde 1861. Os equipamentos foram construídos dentro de três princípios: fundamentais (viscosidade e consistência); empíricos (a amostra é submetida a um conjunto complexo de forças, como perfuração, corte, penetração e cisalhamento), e imitativos (simulam as ações na mastigação - perfil de textura com células próprias).

A consistência é uma característica reológica que pode ser avaliada através da distância percorrida por um produto semi-sólido a pastoso, por um determinado tempo, a uma temperatura controlada, quando em um sistema padronizado tipo consistômetro de Adams ou consistômetro de Bostwick. Entretanto, a viscosidade é a resistência ao escoamento de um produto quando submetido a uma força mecânica; é dada pela fricção interna do material, sendo dependente da temperatura e da composição do produto. A viscosidade é a razão entre a tensão de cisalhamento e a taxa ou gradiente de cisalhamento (AMERINE *et al.*, 1965).

Os elementos básicos para um equipamento de textura são: célula de medição (sonda ou *probe*), sistema mecânico para movimentação e sistema de registro. Alguns *softwares* são utilizados para facilitar a análise e obtenção dos dados.

A análise de perfil de textura ou TPA (*Texture Profile Analysis*) foi desenvolvida há aproximadamente 30 anos, e é uma forma

interessante de analisar uma série de parâmetros texturais em apenas um teste. Desde então, muitos trabalhos foram feitos, e novas ferramentas foram desenvolvidas (PONS *et al.*, 1996).

A medição instrumental de textura foi proposta como uma alternativa de superar os principais inconvenientes e limitações da avaliação sensorial relacionadas às dificuldades de interpretação e variação dos resultados (ANZALDÚA-MORALES, 1994). São baseados na deformação do material através de uma força de compressão, que é convertida em um gráfico de tensão, obtendo-se parâmetros que representam as propriedades físicas do material (KULMYRZAEV *et al.*, 2005).

A análise de perfil de textura é uma medida empírica, a qual pode ser correlacionada com aspectos fundamentais da estrutura e comportamento macromolecular. Variações nos parâmetros devem ser entendidas e eliminadas de modo a maximizar os benefícios e a relevância dos dados gerados.

Um analisador de textura é um instrumento científico que quantifica a reação de uma amostra a uma condição imposta. O instrumento faz esta quantificação através da medida das reações do produto à força, ou distância, aplicada através de movimentos ascendentes e descendentes. A interpretação dos resultados é dada em função do tempo.

2.3.2 TEXTURA EM ALIMENTOS

A textura é um termo comumente empregado na indústria de alimentos e apresenta grande importância para o desenvolvimento de novos produtos e testes com novos ingredientes, seja para otimizações de processos ou determinação do perfil de textura (TPA).

De acordo com Matz (1962), os alimentos são classificados com base nas suas propriedades de textura, como: alimentos líquidos, alimentos em forma de géis, alimentos fibrosos, óleos e gorduras comestíveis, alimentos em pó, entre outros.

A importância da textura na aceitação global dos alimentos varia amplamente, dependendo do tipo de alimento, sendo que cada alimento pode ter uma ou mais características de textura. Cardello (1996b) afirma que o sabor é geralmente considerado o fator sensorial mais importante, responsável pelo gosto de muitos alimentos e a textura é frequentemente citada pelos consumidores como o principal motivo para não gostar de determinados alimentos.

Vários parâmetros sensoriais de textura foram desenvolvidos e definidos pela Organização Internacional de Padronização 5492/3 (ISO 5492/3, 1979). Alguns deles são: consistência, dureza, maciez, crocância, firmeza, entre outros.

2.4 REOLOGIA

O termo reologia, que provem do grego *rheo* (fluxo) e *logos* (ciência), foi sugerido por Bingham e Crawford para descrever as deformações sofridas por sólidos e líquidos (LABA, 1993; LEONARDI *et al.*, 2001) quando submetidos a uma força de cisalhamento, pressão ou tração. A reologia é uma ciência que surgiu no início do século XX e tem como objetivo estudar a deformação e o escoamento dos materiais.

A operação fundamental em um teste reológico é aplicar uma força sobre o material a ser investigado e medir sua deformação, ou, igualmente, aplicar uma deformação e medir a resistência.

Na área de alimentos, o conhecimento do comportamento reológico tem várias aplicações como em projetos e avaliações de processos, controle de qualidade, correlação com avaliação sensorial, testes de vida de prateleira, entre outros. Os alimentos apresentam comportamento reológico variado devido à estrutura e composição complexas (TABILO-MUNIZAGA e BARBOSA-CÁNOVAS, 2005).

Muitas das propriedades texturais que os humanos percebem quando consomem alimentos são basicamente reológicas na natureza, isto é, cremosidade, suculência, maciez, suavidade e dureza. A estabilidade e aparência dos alimentos frequentemente dependem das características reológicas e de seus componentes. A crescente necessidade e procura dos parâmetros reológicos para os diversos fluidos manipulados nas indústrias de processamento está ligada também à grande importância econômica que estes fluidos e equipamentos de manipulação representam (VIDAL, 2000).

2.4.1 CLASSIFICAÇÃO REOLÓGICA DOS FLUIDOS

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

propriedade do fluido que descreve a magnitude da resistência devido às forças cisalhantes dentro do fluido (SHARMA *et al.*, 2000).

Em muitas operações da indústria de alimentos, a medida da viscosidade permite controlar a qualidade das matérias-primas e o efeito de suas variações, seja nas condições de processamento, sobre os produtos durante a fabricação, ou no produto final. O conhecimento da viscosidade pode contribuir para a otimização de processos, redução dos custos nos ingredientes e melhoria da consistência do produto (LEWIS, 1993).

2.4.1.1 FLUIDOS NEWTONIANOS E NÃO NEWTONIANOS

O comportamento reológico dos fluidos está dividido em newtoniano e não-newtoniano, dependendo da relação que apresentam entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação aplicada (TABILO-MUNIZAGA e BARBOSA-CÁNOVAS, 2005). Essa relação foi estabelecida por Newton em 1687, e é representada pela Equação 2.1 (BIRD, 1960):

$$\tau = \mu\gamma \quad (2.1)$$

onde:

τ = tensão de cisalhamento (Pa)

γ = taxa de deformação (s^{-1})

μ = viscosidade (Pa.s)

Os fluidos newtonianos são caracterizados por apresentar uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação aplicada, dependendo apenas da temperatura e da composição do fluido, ou seja, apresentam viscosidade constante. Por outro lado, os fluidos não-newtonianos apresentam uma relação não linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação aplicada, e podem apresentar dependência ou independência do tempo, ou viscoelasticidade.

Para fluidos não-newtonianos o termo viscosidade é substituído por viscosidade aparente, η_{ap} e é função do gradiente de velocidade (VIDAL, 2000), como mostra a Equação 2.2.

$$\eta_{ap} = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (2.2)$$

onde:

η_{ap} = viscosidade aparente (Pa.s)

τ = tensão de cisalhamento (Pa)

γ = taxa de deformação (s^{-1})

A dependência da viscosidade aparente com o tempo ou taxa de deformação e as características inerentes aos sólidos (elásticas e plásticas) quando presentes em fluidos viscosos, em conjunto ou separadamente, formam a base do que se convencionou chamar de fenômenos não-newtonianos.

2.4.1.1.1 FLUIDOS DEPENDENTES DO TEMPO

Os fluidos dependentes do tempo são classificados como tixotrópicos e reopéticos, e exibem histerese, isto é, a viscosidade dos sistemas sujeitos a uma força por um tempo t não é a mesma quando medida no mesmo tempo t , depois de cessada a ação desta força (NOGUEIRA, 2002).

Fluidos tixotrópicos: um fluido tixotrópico é aquele no qual a viscosidade aparente diminui com o tempo quando o fluido é submetido a uma taxa de cisalhamento constante. Quando o fluido fica em repouso, retorna à condição original. Fluidos desse tipo são conhecidos por conter pequenas partículas (cristais ou biopolímeros) que são mantidos juntos por forças fracas. O cisalhamento do material separa as partículas agregadas e então ocorre uma menor resistência ao escoamento e a viscosidade decresce com o tempo até um valor constante ser alcançado (MCCLEMENTS, 2009). Têm-se como exemplos desse fluido as tintas, as argilas, pastas de frutas, gelatinas, manteigas, entre outros (POSSA e de LIMA, 2000).

Fluidos reopéticos: caracterizam-se por apresentar aumento na viscosidade aparente do fluido com o tempo, quando sujeitos a uma taxa constante de cisalhamento. O cisalhamento aumenta a frequência das colisões entre as moléculas ou partículas dos fluidos, que pode levar a um aumento de agregados e conseqüentemente um aumento na viscosidade aparente (MCCLEMENTS, 2009). Este tipo de comportamento não é comum em alimentos, mas pode ocorrer em soluções de amido altamente concentradas e suspensões de bentonita, além de alguns tipos de sóis (POSSA e de LIMA, 2000; COSTA, 2006).

A Figura 2.4 apresenta as curvas de escoamento para os fluidos dependentes do tempo.

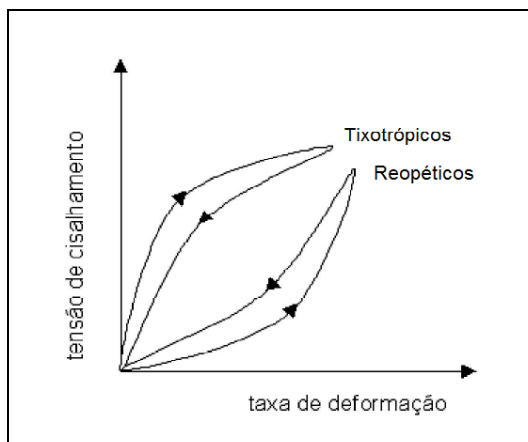


Figura 2.4 - Reograma para fluidos dependentes do tempo (SHARMA et al., 2000).

2.4.1.1.2 FLUIDOS INDEPENDENTES DO TEMPO

Os fluidos que não dependem do tempo são classificados em fluidos pseudoplásticos, fluidos dilatantes e fluidos de Bingham.

Fluidos pseudoplásticos: neste grupo encontram-se a maioria dos fluidos de componentes de comportamento não-newtoniano. São fluidos independentes do tempo, sem tensão residual, que começam a escoar sob a ação de tensões de cisalhamento infinitesimais (VIDAL, 2000). Este tipo de fluido demonstra um decréscimo na viscosidade com um aumento na tensão de cisalhamento (MCCLEMENTS, 2009), sendo que a taxa de cisalhamento versus a tensão de cisalhamento forma uma linha convexa (SHARMA *et al.*, 2000). Esses fluidos em repouso apresentam um estado desordenado, e quando submetidos a uma tensão de cisalhamento, suas moléculas tendem a se orientar na direção da força aplicada. Quanto maior a tensão aplicada, maior será a ordenação. Assim, a viscosidade aparente será menor (HOLDSWORTH, 1971). Alguns exemplos de fluidos pseudoplásticos são: lamas, óleos de motor, soluções poliméricas, sucos de fruta concentrados, entre outros.

Fluidos dilatantes: nesses fluidos observa-se um aumento da viscosidade aparente com o aumento da taxa de cisalhamento, como é o caso de fluidos contendo alto nível de sólidos defloculados, como lamas de argila, compostos de doceria, amido de milho em água e misturas de areia/água, além de alguns tipos de mel (POSSA e de LIMA, 2000).

Fluidos de Bingham: alguns fluidos requerem uma tensão inicial para iniciar o escoamento. Neste caso, são denominados Fluidos ou Plásticos de Bingham. Esses materiais possuem uma estrutura interna capaz de impedir o escoamento para valores de tensão de cisalhamento inferiores a um valor limite (τ_0). Quando a tensão de cisalhamento é maior que o valor limite, a estrutura interna colapsa, favorecendo o escoamento do material como um fluido (SKELLAND, 1967). Alguns exemplos de fluidos alimentícios que representam esse comportamento são maionese, margarina, catchup de tomate e substâncias de cobertura. São materiais onde o fluxo não é desejado sob condições estáticas (COSTA, 2006).

2.4.2 MODELOS REOLÓGICOS

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

Na literatura existem muitos modelos reológicos propostos. A escolha do modelo a ser utilizado é uma função das características do fluido (RAO e ANANTHESWARAM, 1982). Os modelos mais comumente utilizados são: Ostwald-De-Waele (Lei da Potência), Bingham, Herschel-Bulkley, Casson e Mizrahi & Berk.

2.4.2.1 MODELO DE OSTWALD-DE-WAELE

O modelo de Ostwald-De-Waele, também conhecido como Lei da Potência, é bastante utilizado para descrever o comportamento de alimentos devido à sua simplicidade e ampla aplicabilidade (BRANCO, 2001). A representação matemática do modelo é dada pela Equação 2.3.

$$\tau = k\dot{\gamma}^n \quad (2.3)$$

onde:

k = índice de consistência (Pa.sⁿ)

n = índice de comportamento (adimensional)

$\dot{\gamma}$ = taxa de deformação (s⁻¹)

τ = tensão de cisalhamento (Pa)

A viscosidade aparente é determinada com a Equação 2.4.

$$\eta = k\dot{\gamma}^{n-1} \quad (2.4)$$

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

2.4.2.2 MODELO DE HERSCHEL-BULKLEY

Representado pela equação 2.5, este modelo é uma forma modificada do modelo proposto por Ostwald-De-Waele, diferindo apenas pela existência de uma tensão inicial, a partir da qual o fluido começa a escoar (COSTA, 2006).

$$\tau = \tau_0 + k\dot{\gamma}^n \quad (2.5)$$

onde:

τ = tensão de cisalhamento (Pa)

τ_0 = tensão inicial de cisalhamento (Pa)

$\dot{\gamma}$ = taxa de deformação (s⁻¹)

k = índice de consistência (Pa.sⁿ)

n = índice de comportamento (adimensional)

2.4.2.3 MODELO DE CASSON

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

$$\tau^{1/2} = K_{OC} + K_C \gamma^{1/2} \quad (2.6)$$

onde:

- τ = tensão de cisalhamento (Pa)
- K_{OC} = tensão inicial (Pa)
- K_C = viscosidade plástica de Casson (Pa.s)
- γ = taxa de deformação (s^{-1})

2.4.2.4 MODELO DE MIZRAHI & BERK

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

$$\tau^{1/2} = K_{OM} + k_M \gamma^{n_M} \quad (2.7)$$

onde:

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

2.4.3 PROPRIEDADES REOLÓGICAS DA INULINA

Atualmente, poucos estudos fundamentais sobre a reologia de inulina foram publicados na literatura.

A maioria das aplicações práticas dos polissacarídeos envolve sua habilidade de alterar as propriedades físicas do meio onde se encontram, seja por conferir alta viscosidade a soluções ou por criar redes intermoleculares coesivas. Os polissacarídeos também são freqüentemente utilizados para eliminar efeitos indesejáveis de liberação de água em alguns alimentos processados e como espessantes na

formulação de produtos de baixas calorias. O conhecimento do comportamento reológico das soluções de polissacarídeos é de fundamental importância no projeto, na avaliação e na modelagem de processos. Além disso, as propriedades reológicas também são um indicador da qualidade do produto e desempenham um papel fundamental na análise das condições de escoamento em processos de alimentos como pasteurização, evaporação e secagem (MORRIS, 1995).

O uso de inulina como encorpante está associado à capacidade que ela possui de aumentar a viscosidade de um líquido, resultando em características organolépticas e texturas desejáveis em alimentos, como corpo e *mouthfeel*, substituindo a gordura, além de apresentar baixo teor calórico e de atuar no organismo humano de maneira similar às fibras dietéticas, contribuindo para a saúde do sistema gastrointestinal (ROBERFROID, 1993).

Hennelly *et al.* (2005), realizaram um estudo das propriedades reológicas de uma imitação de queijo com a substituição parcial (23% ou 63%) de gordura por gel de inulina, a 55°C. Os resultados mostraram que a substituição da gordura por inulina foi muito satisfatória sem qualquer efeito significativo sobre as características do queijo e principalmente por manter a mesma textura agradável, com menos calorias.

2.5 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

O uso de planejamentos experimentais baseados em princípios estatísticos pode fornecer o máximo de informação útil realizando-se um número mínimo de experimentos, com melhor qualidade de informação nos resultados. A análise multivariável permite verificar e quantificar efeitos sinérgicos e antagônicos entre as variáveis estudadas, sendo possível otimizar mais de uma resposta ao mesmo tempo. No planejamento de qualquer experimento, a primeira etapa é decidir quais os fatores e quais as respostas de interesse. Os fatores ou variáveis independentes, em geral, são as variáveis que o experimentador tem condições de controlar e podem ser qualitativas ou quantitativas. As respostas são as variáveis dependentes, que serão ou não afetadas por modificações provocadas nos fatores, e muitas vezes precisam ser consideradas simultaneamente (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2002).

A metodologia de superfície de resposta (RSM) é uma técnica que tem sido aplicada com sucesso na otimização de processos

alimentícios, e consiste em um grupo de procedimentos matemáticos e estatísticos que são usados para estudar a relação entre uma ou mais respostas (variáveis dependentes) e um número de fatores (variáveis independentes). Esta metodologia gera um modelo matemático que descreve o processo em estudo (BARROS NETO *et al.*, 2002; DINIZ e MARTIN, 1996). O planejamento experimental fatorial associado à técnica de RSM dá informações seguras do processo, reduzindo soluções empíricas que envolvem técnicas de tentativa e erro (BOX *et al.*, 1978). Usando esta técnica para realizar os ensaios experimentais, é possível estimar os efeitos principais das variáveis na resposta ou variável dependente. A tabela de análise de variância dá informações sobre o quanto o ajuste foi adequado, sendo possível propor o modelo probabilístico que correlaciona resposta em função das variáveis estudadas, construindo a superfície de resposta para determinar a faixa ótima de operação. Esta metodologia tem sido aplicada em muitos trabalhos científicos na análise e otimização de processos.

Deyrmenjian *et al.* (2001), através da metodologia de superfície de resposta (RSM), estudou o efeito combinado dos parâmetros de secagem por atomização de extrato de inulina de chicória, em que as variáveis independentes eram a temperatura de entrada e saída e a porcentagem de ingredientes na retenção de inulina, expressa como a razão da massa de inulina na alimentação e a massa de inulina no pó. Desta forma, utilizando a metodologia de superfície de resposta associada ao planejamento fatorial para análise do processo de secagem por atomização de extrato aquoso de chicória, foi possível estabelecer a faixa ótima de operação e os modelos matemáticos para prever o rendimento do processo e a retenção de inulina no produto em pó.

3.1 MATÉRIA-PRIMA

Inulina e FOS em pó, da marca Beneo-Orafti, de nomes Beneo[®]GR e Beneo[®]P95, com aproximadamente 92% de inulina e 95% de FOS, respectivamente, foram fornecidos pela empresa Clariant do Brasil.

3.2 CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA DE INULINA

O comportamento reológico da inulina foi determinado através de um viscosímetro rotacional de cilindros concêntricos Thermo Haake DC 10, modelo VT 550. Foram utilizadas soluções de FOS, a inulina de baixa massa molecular (P95), nas concentrações de 10%, 20%, 40%, 60% e 80% e soluções de inulina de alta massa molecular (GR), nas concentrações de 2%, 5%, 10%, 15%, 20% e 30%. As medidas foram feitas nas temperaturas de 25, 40 e 85°C, sendo ajustadas através de um banho termostático acoplado ao equipamento. O aparelho fornece diretamente os dados de tensão de cisalhamento, taxa de deformação e viscosidade.

As análises reológicas foram obtidas com variação da taxa de deformação de 0 a 1000 s⁻¹ (curva ascendente) e de 1000 a 0 s⁻¹ (curva descendente) para quase todas as medidas; apenas amostras de inulina de alta massa molecular (GR) à concentração de 30%, foi utilizada uma taxa de deformação de 0 a 200 s⁻¹ (curva ascendente) e de 200 a 0 s⁻¹ (curva descendente) e para as amostras de inulina de baixa massa molecular (P95) com concentração de 80%, foi utilizada uma taxa de deformação de 0 a 25 s⁻¹ (curva ascendente) e de 25 a 0 s⁻¹ (curva descendente), com um tempo de 3 minutos para as duas curvas. As leituras foram feitas em duplicata, sendo que em cada medida foi usada uma nova amostra, o que resultou em 60 pontos de subida e 60 pontos de descida para cada ensaio realizado.

Os resultados foram analisados segundo os modelos de Newton, Ostwald-De-Waele, Herschel-Bulkley e Casson, descritos pelas equações 2.1, 2.3, 2.5 e 2.6, respectivamente, e tratados estatisticamente pela análise de variância, ANOVA, e teste de Duncan, a 5% de significância, através do programa Statística 7.0[®].

3.3 FORMAÇÃO DE GEL

Géis de inulina foram obtidos a partir de soluções de inulina GR, a qual possui maior massa molecular. Para estudo das condições adequadas para a formação do gel, foram desenvolvidos planejamentos experimentais completos com pontos axiais de modo a avaliar a influência de diferentes fatores. Nestes planejamentos foram estudados o Índice Volumétrico de Gel (VGI) e o perfil de textura a partir das informações obtidas pela análise dos resultados obtidos para o VGI. As condições de trabalho são descritas a seguir.

3.3.1 ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE GEL (VGI)

O procedimento para obtenção dos géis foi realizado da seguinte maneira: à quantidade de inulina necessária a cada experimento desenvolvido de modo a satisfazer as condições imposta por um planejamento experimental estrela, foram adicionados volumes variáveis de água destilada até que fosse atingida a massa de 50 g. A solução foi simultaneamente agitada e aquecida em um banho termostatizado, modelo DI-940, marca Dist, até completa solubilização, e então colocadas em tubos de vidro, precisamente graduados, com diâmetro interno de 1,5 cm, o que resulta em 1,76 cm² de área interna. A agitação foi realizada com um ULTRA TURRAX[®] T25 *basic*, marca IKA LABORTECHNIK. O pH das soluções foi ajustado com ácido clorídrico 0,01 M, marca Nuclear, e solução de hidróxido de sódio 0,01 M, marca Biotec.

Os ensaios foram feitos segundo o planejamento experimental de dois níveis com pontos centrais, com variáveis codificadas, como mostra a Tabela 3.1. Este primeiro planejamento teve como finalidade determinar as condições adequadas para a formação de gel de inulina. As variáveis estudadas foram: concentração de inulina, pH e temperatura. A agitação foi considerada como uma variável de blocagem, ou seja, sem e com agitação (13.000 rpm). A resposta observada foi o volume de gel formado em cada ensaio.

O índice de formação de gel foi calculado segundo a equação:

$$VGI = \frac{V_G}{V_T} * 100 \quad (3.1)$$

onde:

V_G = volume de gel formado

V_T = volume total

Tabela 3.1 - Valores das variáveis (fatores) codificadas usadas no planejamento experimental para a formação do gel de inulina (VGI).

Fatores	- 1,76	-1	0	+1	+ 1,76
pH	2,0	3,2	5,0	6,8	8,0
T (°C)	25	40	60	80	95
Concentração de inulina (%)	15	19	25	31	35
Bloco*	sem		com		

*Bloco: “sem agitação” e “com agitação”, a 13.000 rpm, 10 min.

Foram preparados 16 tubos para observação da formação de gel de inulina, em duplicata. Depois de tampados, a formação de gel foi observada nos tubos em condição de repouso após 24 horas.

3.3.2 ANÁLISES DO PERFIL DE TEXTURA DOS GÉIS DE INULINA (TPA)

As medidas para obtenção do perfil de textura foram realizadas em texturômetro *Stevens Texture Analyzer*, modelo *LFRA-1000*, a 25°C, e os dados adquiridos através do *software Interface*[®], do Laboratório de Análise Sensorial do Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos - UFSC, utilizando sonda cilíndrica de acrílico de 1,0 pol de diâmetro. A sonda foi inserida em um recipiente de 50 mL contendo amostra preparada segundo um planejamento experimental composto central, cujas variáveis são mostradas na Tabela 3.2. A velocidade do pré-teste foi de 2,0 mm/s, a velocidade do teste 2,0 mm/s, a velocidade do pós-teste 2,0 mm/s, com a distância de penetração na amostra de 20 mm. Cada amostra foi analisada separadamente com, no mínimo, duas repetições. As amostras foram colocadas na base inferior do equipamento e a parte superior contendo a sonda foi acionada para execução da análise. A partir da curva de penetração (Figura 3.1), foram obtidos os parâmetros para força do gel ou firmeza, consistência, força de adesão e adesividade. A força do gel é definida como a força máxima observada durante o ciclo da penetração inicial. A consistência, dada pela área da curva (Área 1), é o trabalho requerido para alcançar a

deformação que indica a resistência interna do produto (AHMED *et al.*, 2005). A força de adesão corresponde à força máxima do retorno (negativa) do sensor (ERDEM, 2005, KONSTANCE, 1993), sendo a adesividade a área desta curva (Área 2), e que representa o trabalho necessário para remover o sensor da amostra (AHMED *et al.*, 2005).

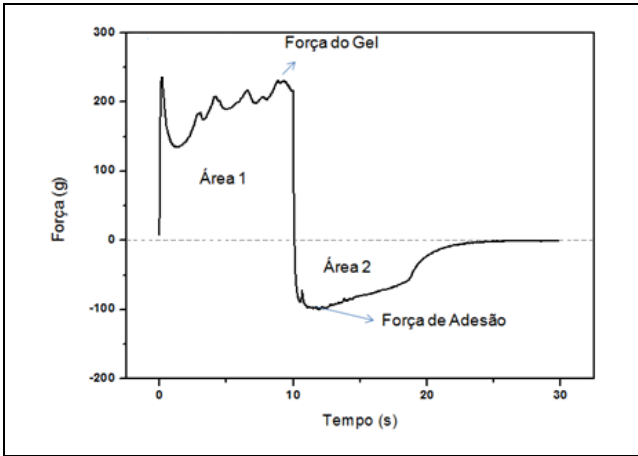


Figura 3.1 - Perfil de textura típica para géis de inulina através da força(g) versus o tempo(s) (PONS e FISZMAN, 1996).

Com base nos resultados obtidos para o VGI, foi desenvolvido um planejamento experimental composto para avaliar o comportamento da força do gel em função das variáveis significativas anteriormente determinadas. As variáveis experimentais codificadas são mostradas a seguir na Tabela 3.2. O pH das soluções foi mantido constante em 6,5 utilizando solução tampão 0,01 M de dihidrogenofosfato de sódio da marca Nuclear.

Os dados foram analisados utilizando ANOVA, a 5% de significância.

Tabela 3.2 - Valores das variáveis codificadas usadas no planejamento experimental para a formação do gel de inulina.

Fatores	-1,76	-1	0	+1	+1,76
Concentração de inulina (%)	25	28,2	32,5	36,7	40
T (°C)	25	40	60	80	95
Tempo de agitação (min)	5	8	12,5	17	20
Agitação* (rpm)	13.000		22.000		

*Agitação foi considerada variável de blocagem.

Neste capítulo serão apresentados os resultados experimentais do estudo de inulina e FOS comerciais em pó; em forma de gel e soluções para análises reológicas.

4.1 CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA DE SOLUÇÕES DE INULINA E FOS

A análise reológica foi desenvolvida para concentrações de 2 a 30% m/m de inulina de cadeia longa (Beneo[®]GR), e de 10 a 80% m/m de FOS (Beneo[®]P95). Para valores de concentração de inulina GR de 2 a 20% e inulina P95 de 10 a 60%, foram utilizadas taxas de deformação acima de 180 s⁻¹, devido à instabilidade do equipamento nas medidas mais baixas. Concentrações mais altas, 30% de inulina GR e 80% de inulina P95, permitiram a utilização de taxas de deformação de 0 a 200 s⁻¹ e de 0 a 25 s⁻¹, respectivamente, não sendo possível fazer medidas a taxas maiores para estas concentrações.

4.1.1 CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA DE INULINA DE CADEIA LONGA (BENE[®]GR)

Concentrações até 20% m/m

A Figura 4.1 mostra os gráficos de viscosidade em função da taxa de deformação para as soluções de inulina GR a concentrações de 2%, 5%, 10%, 15%, e 20%, nas temperaturas de 25, 40 e 85°C. Através das curvas obtidas observa-se que para concentrações de 2%, 5% e 10%, os valores da viscosidade são praticamente coincidentes para as temperaturas estudadas, sendo obtidos valores mais altos e medidas mais dispersas a partir de concentração 15%. À medida que a concentração aumenta, as viscosidades aumentam e as curvas começam distanciar umas das outras para as diferentes temperaturas, como observado, por exemplo, para a concentração de 15% m/m.

De acordo com Hassan e Hobani (1998), com o aumento da temperatura, a energia térmica e as distâncias moleculares aumentam devido à redução das forças intermoleculares. Desta forma, as soluções podem escoar mais facilmente, como um resultado da diminuição da interação partícula-partícula, a qual resulta na diminuição da viscosidade.

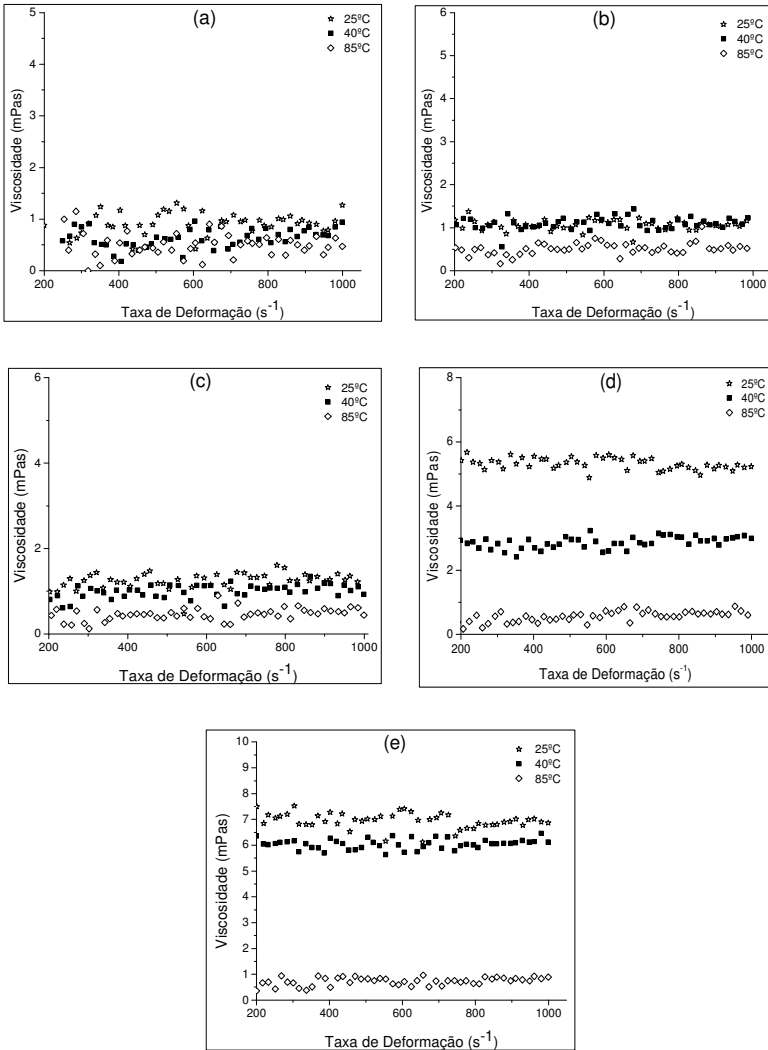


Figura 4.1 - Viscosidade em função da taxa de deformação para soluções de inulina GR nas concentrações de (a) 2%, (b) 5%, (c) 10%, (d) 15% e (e) 20%, nas temperaturas estudadas: 25, 40 e 85°C.

A Tabela 4.1 mostra as viscosidades médias obtidas para todas as soluções de inulina GR de alta massa molecular nas concentrações e temperaturas estudadas. Observa-se que a viscosidade aumenta à medida que a concentração aumenta, e diminui à medida que a temperatura aumenta. Tendo em vista que estes fatores atuam em sentidos opostos, a associação destes dois efeitos pode promover valores de viscosidade semelhantes, cuja diferença pode ser determinada com a aplicação do teste de Duncan aos resultados experimentais. Este teste indicou diferenças estatisticamente significativas, identificadas por letras e números diferentes sobrescritos na tabela referida acima, entre as concentrações de 20% e 30% em todas as temperaturas estudadas e em relação ao efeito da temperatura houve diferença significativa para todas as concentrações a 85°C, e para a concentração de 30% houve diferença significativa em todas as temperaturas estudadas.

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

Tabela 4.1 - Resultados do teste de Duncan para as médias de viscosidade em função da concentração e da temperatura, para as soluções de inulina GR.

GR Concentração (%)	Viscosidade (mPas)*		
	Temperatura (°C)		
	25	40	85
2	0,895 ± 0,185 ^{a,1}	0,740 ± 0,035 ^{a,1}	0,445 ± 0,040 ^{a,2}
5	1,302 ± 0,245 ^{a,1}	0,778 ± 0,245 ^{a,1}	0,516 ± 0,060 ^{a,2}
10	1,515 ± 0,127 ^{a,1}	1,038 ± 0,005 ^{a,1}	0,563 ± 0,005 ^{a,2}
15	5,288 ± 0,005 ^{a,1}	2,836 ± 0,325 ^{a,1}	0,573 ± 0,020 ^{a,2}
20	6,958 ± 0,102 ^{a,1}	6,109 ± 0,320 ^{a,1}	0,717 ± 0,110 ^{a,2}
30	125,187 ± 20,732 ^{b,1}	38,315 ± 1,40 ^{b,2}	1,085 ± 0,175 ^{b,3}

* Médias seguidas de letras diferentes mostram diferenças significativas entre as concentrações, e números diferentes mostram diferenças significativas entre as temperaturas pelo teste de Duncan a 5% de significância.

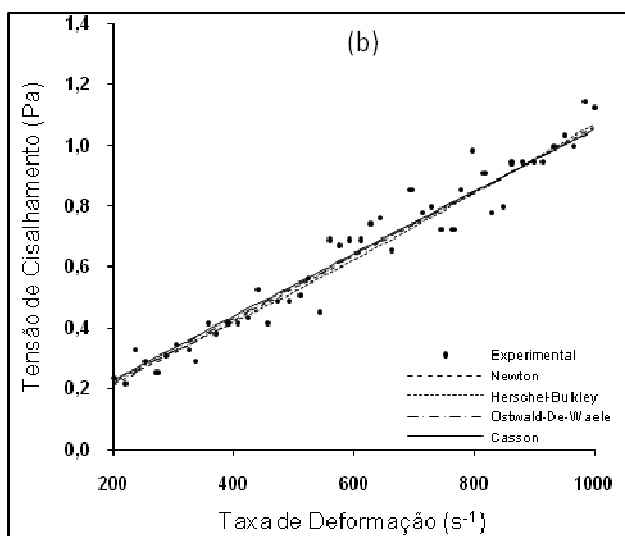
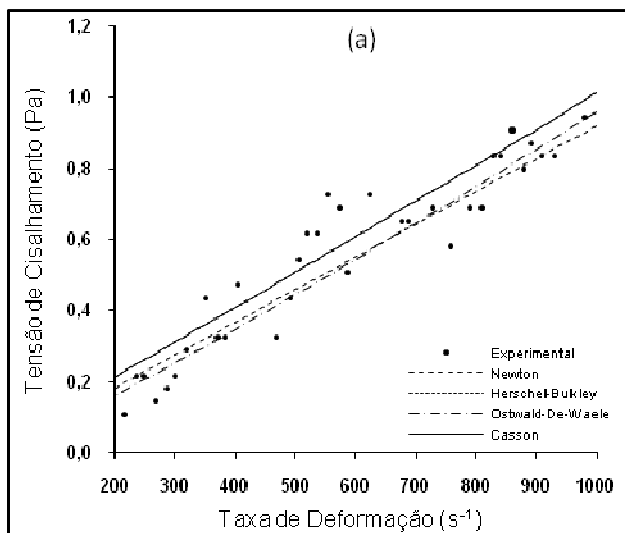
Bot *et al.* (2004) também estudaram a reologia de géis de inulina de alta massa molecular e observaram que os géis de inulina com maior concentração apresentaram maior viscosidade. Os autores lançaram a

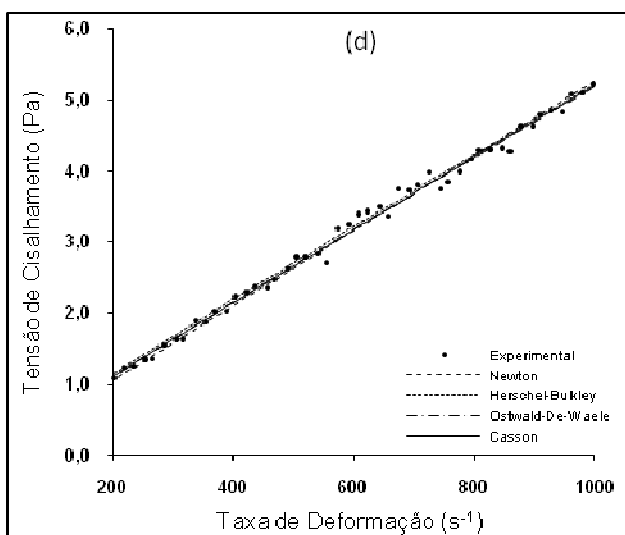
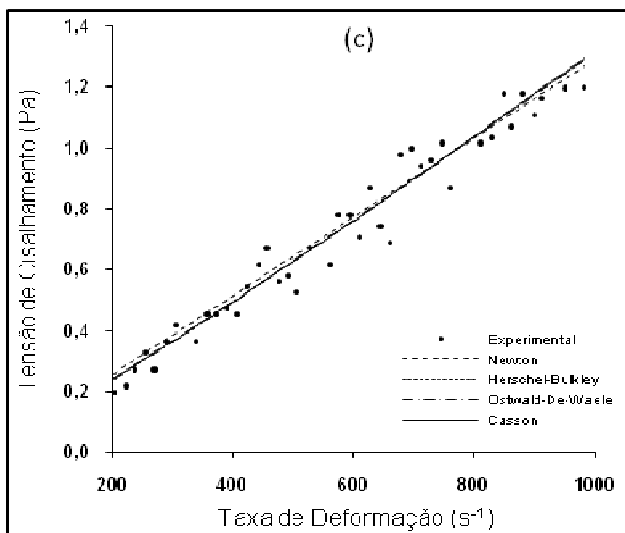
hipótese de que as moléculas de inulina depositadas durante os últimos estágios do processo de formação do gel são as que mais contribuem para este grande aumento de viscosidade.

A Tabela 4.2 mostra os parâmetros dos modelos de Newton, Ostwald-de-Waele, Casson e Herschel-Bulkley ajustados às diferentes concentrações, à temperatura de 25°C, para as soluções de inulina GR, de acordo com os dados da curva descendente. As demais temperaturas mostraram comportamentos similares com valores dos coeficientes de determinação satisfatórios e muito parecidos entre si.

Tabela 4.2 - Parâmetros reológicos para soluções de inulina GR a 25°C, obtidos através do ajuste aos diferentes modelos.

Inulina GR (%)	Modelo Reológico de Newton: $\tau = \mu(\gamma)$			Modelo Reológico de Ostwald-de-Waele: $\tau = K(\gamma)^n$			
	Parâmetros			Parâmetros			
	μ	R		K	n	R	
2	0,00092	0,9372		0,00046	1,1065	0,9391	
5	0,00106	0,9728		0,00125	1,0853	0,9730	
10	0,00129	0,9564		0,00086	1,0613	0,9571	
15	0,00527	0,9977		0,00688	0,9592	0,9981	
20	0,00689	0,9970		0,00791	0,9791	0,9971	
30	0,09654	0,9628		0,40529	0,7101	0,9934	
Inulina GR (%)	Modelo Reológico de Casson: $\tau^{1/2} = K_{OC} + K_C \gamma^{1/2}$			Modelo Reológico de Herschel-Bulkley: $\tau = \tau_0 + K(\gamma)^n$			
	Parâmetros			Parâmetros			
	K_{oc}	K_C	R	τ_0	K	n	R
2	0,07587	0,03334	0,9395	0,02881	0,00077	1,0354	0,9395
5	0,03383	0,03139	0,9733	0,07670	0,00032	1,1640	0,9754
10	0,04333	0,03757	0,9572	0,01593	0,00069	1,0919	0,9572
15	0,05980	0,07031	0,9981	0,01928	0,00728	0,9514	0,9981
20	0,03652	0,08167	0,9971	0,00135	0,00793	0,9787	0,9971
30	0,89003	0,23496	0,9963	1,69370	0,14598	0,8883	0,9963





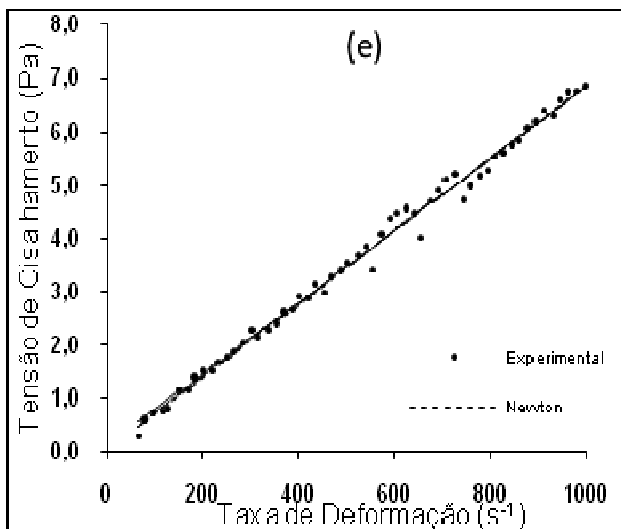


Figura 4.2 - Resultado dos ajustes aos modelos de Newton, Herschel-Bulkley, Ostwald-De-Waele e Casson para os dados de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para inulina GR nas concentrações de (a) 2%, (b) 5%, (c) 10%, (d) 15%, e (e) 20%, a 25°C.

A adequação dos diferentes modelos aos resultados experimentais para as soluções de inulina GR está ilustrada na Figura 4.2, para todas as concentrações utilizadas, a 25°C. As demais temperaturas mostraram comportamentos similares, como pode ser previsto pelos valores dos coeficientes de determinação.

A linearidade entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação aplicada (Figura 4.2) evidencia um comportamento newtoniano para as soluções de inulina GR, nas concentrações de 2 a 20%. Pode-se observar que todos os modelos descrevem de forma satisfatória o comportamento destas soluções, apresentando um alto valor para o coeficiente de determinação, e associado aos dados experimentais ajustados, por exemplo, aos modelos de Ostwald-De-Waele e Herschel-Bulkley, mostram que o índice de comportamento do fluido, n , tem valor muito próximo a um. Deste modo, pode-se usar o modelo de Newton para descrição dos resultados.

Concentrações 30% m/m

O aumento da concentração de inulina de alta massa molecular (GR) para 30%, a 25°C, promove a formação de um fluido muito cremoso, com aspecto de gel. De acordo com a Tabela 4.1, um alto valor de viscosidade, $125,187 \text{ mPa}\cdot\text{s} \pm 20,732$, é observado. Este valor é muito mais alto que os demais. O aumento da temperatura para 40 e 85°C, porém, diminui as viscosidades a valores de 38,315 e 1,085 mPa.s, respectivamente. Esta diminuição, com o aumento da temperatura, é devido ao aumento da energia térmica e das distâncias moleculares do sistema, ocasionando redução tanto das forças intermoleculares como das interações entre as partículas, o que facilita o escoamento do fluido. Este comportamento também pode ser observado através da Figura 4.3, que mostra o perfil da viscosidade em função da taxa de deformação, para a concentração 30% m/m de inulina GR com alta massa molecular nas diferentes temperaturas estudadas.

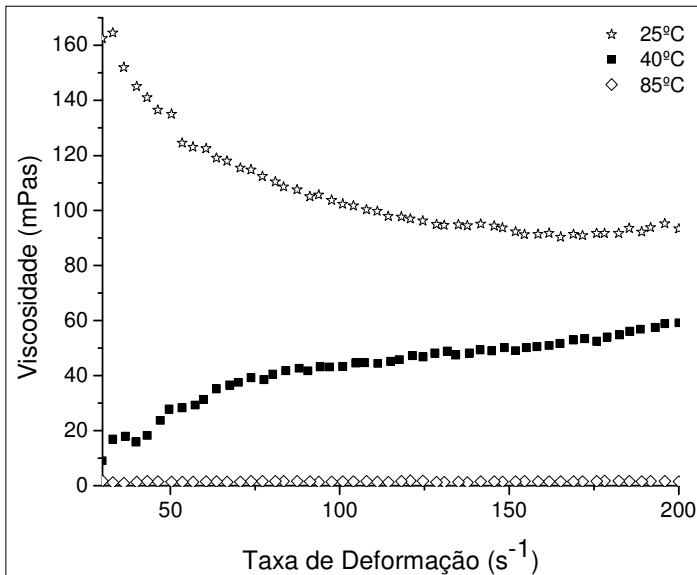


Figura 4.3 - Viscosidade em função da taxa de deformação em todas as temperaturas estudadas, para a solução de inulina GR na concentração de 30%.

O comportamento reológico desta solução (Figuras 4.3 e 4.4) é muito diferente das demais estudadas (Figuras 4.1 e 4.2), como pode ser observado, por exemplo, pela curva na temperatura de 40°C, em que o fluido comportou-se como dilatante, ou seja, houve aumento da viscosidade com o aumento da taxa de deformação. Para esta solução, em todas as temperaturas estudadas, só foi possível aplicar taxas de deformação de 0 a 200 s⁻¹.

A Figura 4.4 mostra o resultado dos ajustes dos modelos de Newton, Herschel-Bulkley, Ostwald-De-Waele e Casson a 25°C, para os dados de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação.

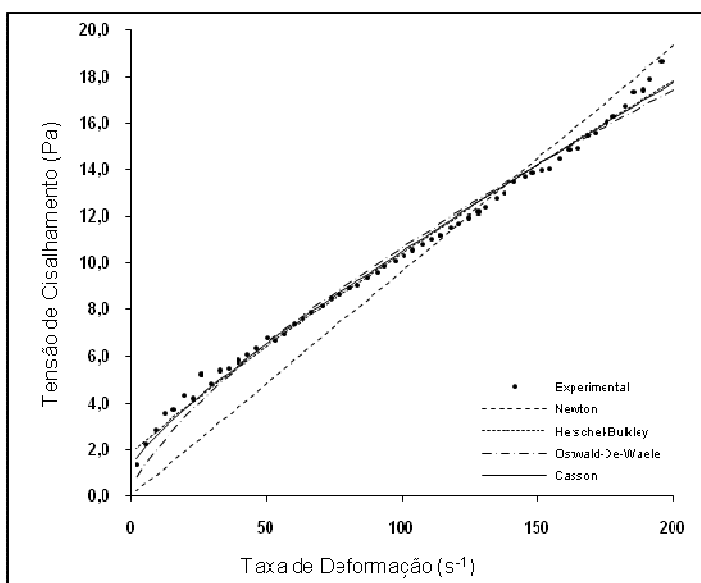


Figura 4.4 - Resultado dos ajustes aos modelos de Newton, Herschel-Bulkley, Ostwald-De-Waele e Casson a 25°C, para os dados de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação, para a solução de inulina GR na concentração de 30%.

Foi observado um comportamento tixotrópico da solução, evidenciado pela presença de histerese (Figura 4.5), ou seja, as curvas de fluxo I e II não se sobrepõem no gráfico de viscosidade em função da taxa de deformação. A área definida pelas curvas ascendentes e descendentes do reograma de um fluido dependente do tempo representa a quantidade de energia necessária para eliminar a influência do tempo e

caracteriza o grau de quebra da estrutura interna ocorrida no produto, ou seja, se a quebra estrutural ocorre, as curvas não coincidem e criam o ciclo de histerese (HALMOS e TIU, 1981).

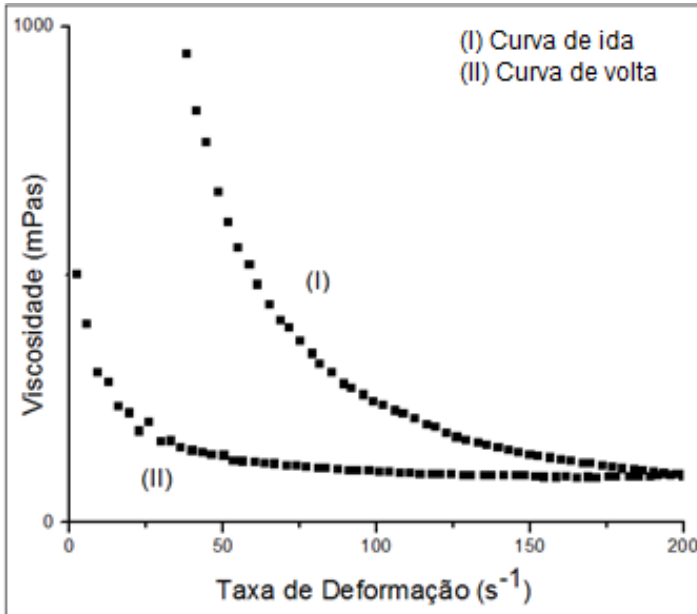


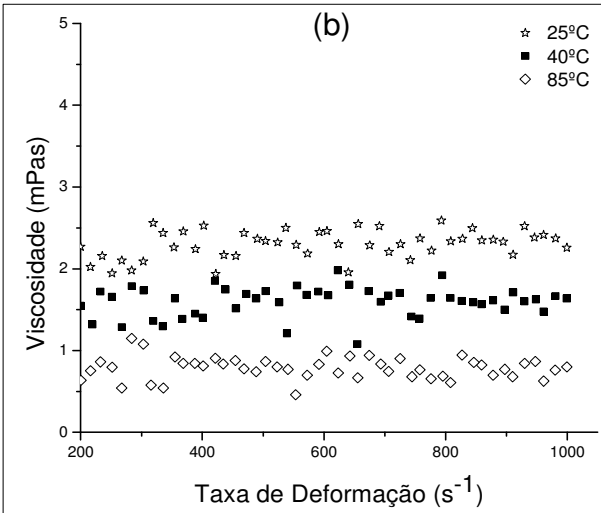
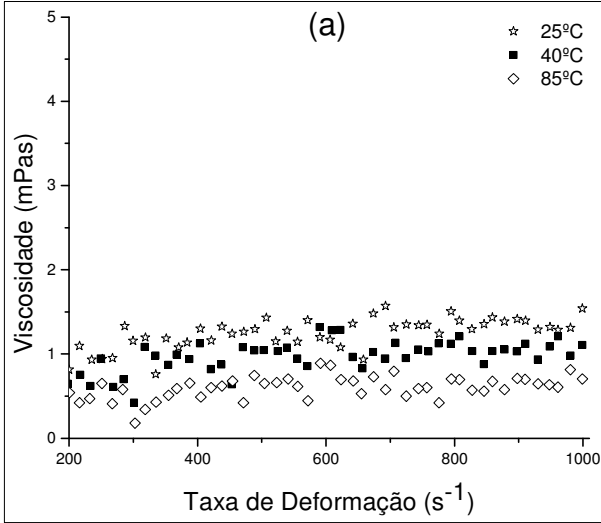
Figura 4.5 - Comportamento tixotrópico para a solução 30% de inulina GR, a 25°C, através da curva de viscosidade em função da taxa de deformação.

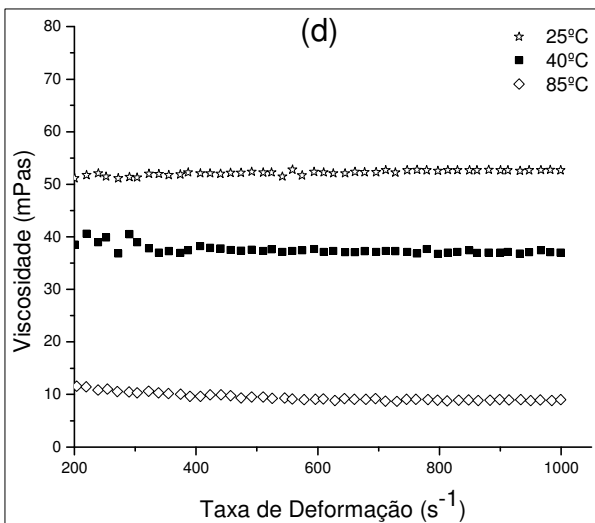
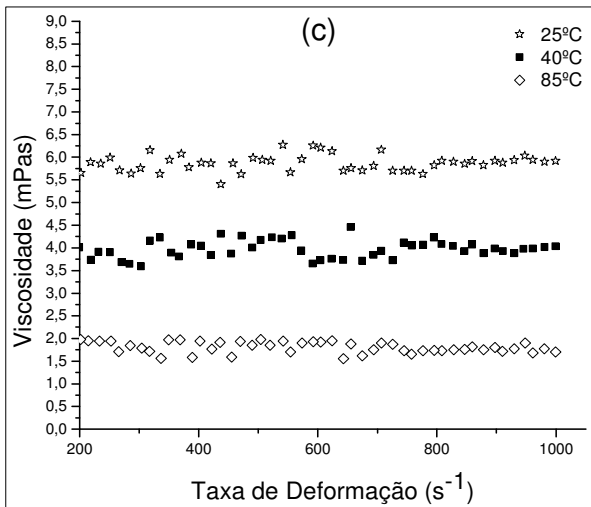
De acordo com Tonelli *at al.* (2008), que estudaram o comportamento reológico de soluções de inulina de chicória de alta massa molecular, o aumento na concentração de inulina produz soluções mais estruturadas (gel), que podem apresentar comportamentos tixotrópicos ou pseudoplásticos. BISHAY (1998) relatou que em baixas concentrações de inulina, até aproximadamente 15 e 20%, as soluções exibem comportamento tipicamente newtoniano. No entanto, a partir de concentração de 25%, as soluções de inulina começam a mudar o comportamento devido ao aumento da concentração, e consequentemente, na estruturação destas soluções que se tornam mais rígidas.

4.1.2 CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA DE INULINA DE CADEIA CURTA - FOS (BENEO®P95)

Os mesmos estudos reológicos foram feitos para o FOS, a inulina de baixa massa molecular (P95) e todas as soluções apresentaram um comportamento tipicamente newtoniano. A Figura 4.6 apresenta os gráficos de viscosidade em função da taxa de deformação para as concentrações de 10%, 20%, 40%, 60% e 80%, nas temperaturas de 25, 40 e 85°C. Em seguida, a Tabela 4.3, mostra o teste de Duncan realizado para comparar o efeito da concentração e da temperatura sobre o comportamento reológico das soluções de FOS e novamente apresentar as diferenças significativas, quando presentes.

Como a faixa de concentração usada para as soluções de FOS foram maiores do que para inulina GR, observam-se diferenças significativas nos perfis reológicos entre as soluções, o que pode ser visualizado através dos gráficos apresentados na Figura 4.6. Quando se aumenta a concentração, principalmente a partir de 60%, ocorrem mudanças mais bruscas, havendo grande aumento na viscosidade. Os valores para a viscosidade da solução à concentração de 80% (gráfico letra e), são altos e o fluido muito viscoso apresenta aparência semelhante ao “mel”. Porém, com o aumento da temperatura, a viscosidade diminui consideravelmente, pois desfavorece o arranjo das moléculas e a interação interna destes sistemas, fazendo com que o fluido escoe facilmente.





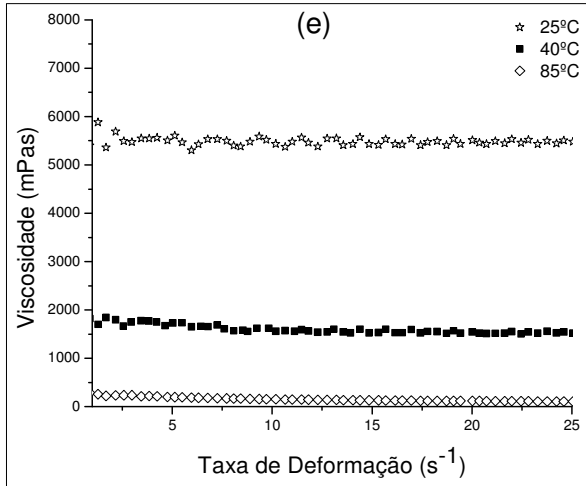


Figura 4.6 - Viscosidade em função da taxa de deformação para soluções de FOS (inulina de baixa massa molecular) nas concentrações de (a) 10%, (b) 20%, (c) 40%, (d) 60% e (e) 80%, nas temperaturas estudadas: 25, 40 e 85°C.

Da mesma forma que para a inulina de cadeia longa, o teste de Duncan (Tabela 4.3) foi aplicado aos resultados para determinar faixas de temperatura e concentração com diferenças estatísticas. A temperatura possui efeito mais forte que a concentração, uma vez que todas as temperaturas influem na diminuição da viscosidade, exceto para soluções a 10% aquecidas a 25 e 40°C. Para a concentração, diferenças significativas de um modo geral, são notadas a partir de 60%. Exceção é observada para 25°C, em que a viscosidade aumenta de cerca de 2 a cerca de 6 mPa.s quando passa de 20 a 40%.

Tabela 4.3 - Resultados do teste de Duncan para a viscosidade em função da concentração e da temperatura, para as soluções de inulina P95.

Concentração (%)	Viscosidade (mPa.s)*		
	Temperatura (°C)		
	25	40	85
10	1,247 ± 0,090 ^{a,1}	0,937 ± 0,100 ^{a,1}	0,590 ± 0,025 ^{a,2}
20	2,292 ± 0,090 ^{a,b,1}	1,563 ± 0,325 ^{a,2}	0,781 ± 0,100 ^{a,3}
40	5,920 ± 0,165 ^{b,1}	4,016 ± 0,075 ^{a,2}	1,835 ± 0,230 ^{a,3}
60	52,410 ± 0,100 ^{c,1}	36,390 ± 0,001 ^{a,2}	8,584 ± 0,265 ^{b,3}
80	5505,0 ± 40,0 ^{d,1}	1582,0 ± 40,0 ^{b,2}	97,580 ± 3,700 ^{c,3}

* Médias seguidas de letras diferentes mostram diferenças significativas entre as concentrações, e números diferentes mostram diferenças significativas entre as temperaturas pelo teste de Duncan a 5% de significância.

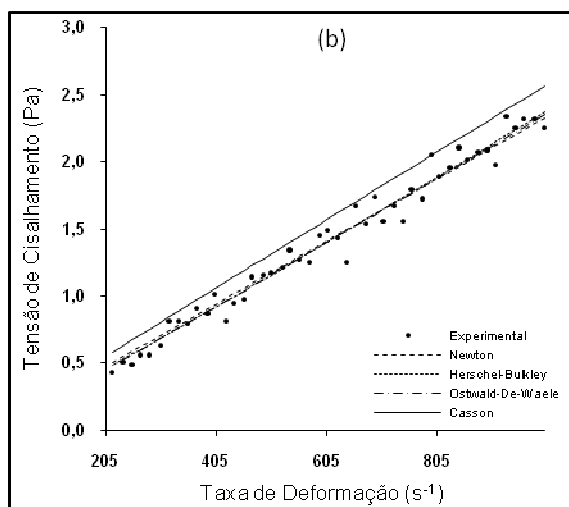
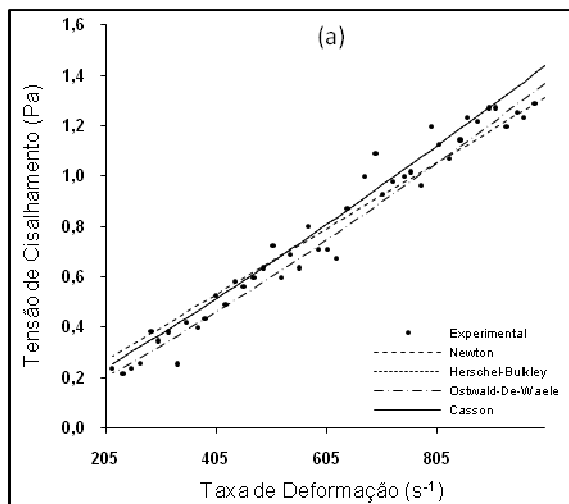
A Tabela 4.4 apresenta os parâmetros dos modelos ajustados às diferentes concentrações, a 25°C para as soluções de FOS. As demais temperaturas mostraram comportamentos similares, como pode ser previsto pelos valores dos coeficientes de determinação, R. Foram avaliados quanto à capacidade de descrever o comportamento reológico das soluções de FOS, de acordo com os dados da curva descendente, os modelos de Newton, Ostwald-de-Waele, Casson e Herschel-Bulkley. Pode-se observar que todos os modelos apresentaram valores muito altos e parecidos entre si para o coeficiente de determinação, R.

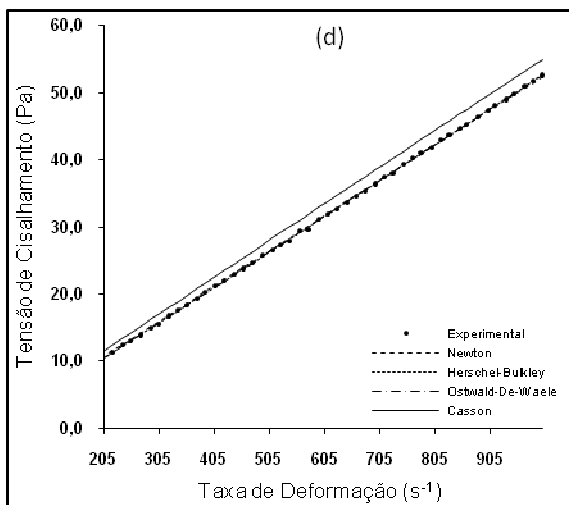
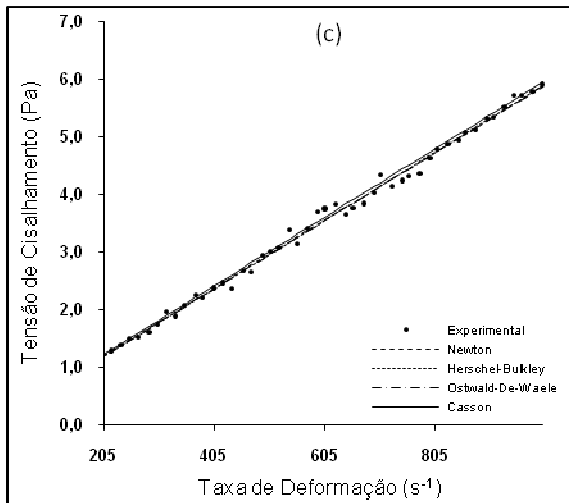
Tabela 4.4 - Parâmetros reológicos para o FOS a 25°C, obtidos através do ajuste aos diferentes modelos.

Inulina P95 (%)	Modelo Reológico de Newton:			Modelo Reológico de Ostwald-de-Waele:			
	$\tau = \mu(\gamma)$			$\tau = K(\gamma)^n$			
	Parâmetros			Parâmetros			
	μ	R	K	n	R		
10	0,00131	0,9809	0,00034	1,2015	0,9874		
20	0,00233	0,9926	0,00183	1,0365	0,9929		
40	0,00588	0,9984	0,00564	1,0062	0,9985		
60	0,05245	0,9998	0,04696	1,0167	0,9998		
80	5,47258	0,9999	5,47682	0,9997	0,9999		
Inulina P95 (%)	Modelo Reológico de Casson:			Modelo Reológico de Herschel-Bulkley:			
	$\tau^{1/2} = K_{OC} + K_C \gamma^{1/2}$			$\tau = \tau_0 + K(\gamma)^n$			
	Parâmetros			Parâmetros			
	K_{oc}	K_C	R	τ_0	K	n	R
10	0,16212	0,04243	0,9876	0,018270	0,000451	1,166051	0,9875
20	0,03341	0,04959	0,9928	0,034692	0,001422	1,072024	0,9930
40	0,00699	0,07696	0,9984	0,034916	0,005118	1,019834	0,9985
60	0,08024	0,23205	0,9998	0,062448	0,046052	1,019501	0,9998
80	0,00544	2,33805	0,9999	0,095207	5,446620	1,001286	0,9999

A Figura 4.7 ilustra a adequação dos diferentes modelos aos resultados experimentais para todas as soluções de FOS, à 25°C. As demais temperaturas mostraram comportamentos similares, como pode ser previsto pelos valores dos coeficientes de determinação, R.

As soluções de FOS apresentaram linearidade entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação aplicada (Figura 4.7) para todas as soluções estudadas, o que denota comportamento tipicamente newtoniano para todas as soluções.





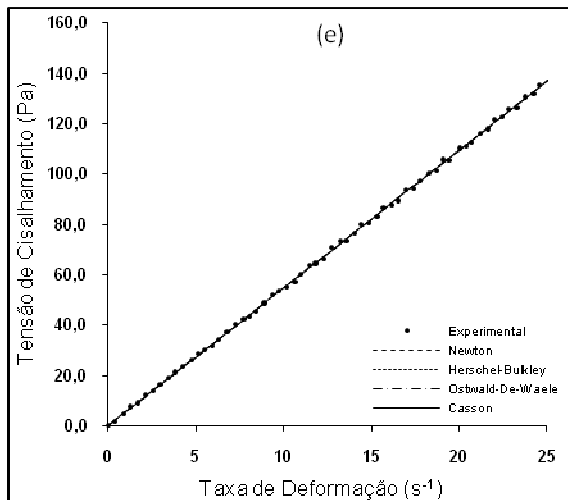


Figura 4.7 - Resultado dos ajustes aos modelos de Newton, Herschel-Bulkley, Ostwald-De-Waele e Casson para os dados de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para FOS nas concentrações de (a) 10%, (b) 20%, (c) 40%, (d) 60% e (e) 80%, a 25°C.

4.2 GÉIS DE INULINA

Devido à inulina de alta massa molecular apresentar viscosidade alta a concentrações muito menores que o FOS, e apresentar um comportamento gelificante dependendo da concentração utilizada, foram avaliados o Índice Volumétrico de Gel, VGI, que informa sobre a quantidade de gel formado em uma dada condição de operação, e a textura deste gel de modo a descrever suas características texturais em diferentes situações de processo.

4.2.1 ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE GEL (VGI)

A Tabela 4.5 mostra os resultados do planejamento experimental para o índice volumétrico de gel, e a Figura 4.8, os tubos com os géis de inulina formados nas diferentes condições estudadas. A Análise de Variância ANOVA e os efeitos de cada variável são mostrados nas Tabelas 4.6 e 4.7, respectivamente, e a Figura 4.9 traz as curvas de nível encontradas para o sistema.

Tabela 4.5 - Índice Volumétrico de Gel (VGI) para inulina GR, observados em tubos de vidro graduados e o planejamento experimental utilizado.

ENSAIOS	FATORES			Blocos*	VGI (%)
	pH	T (°C)	C (%)		
1	(-1) 3,2	(-1) 39,0	(-1) 21,0	1	100
2	(+1) 6,8	(-1) 39,0	(-1) 21,0	2	100
3	(-1) 3,2	(+1) 81,0	(-1) 21,0	2	7
4	(+1) 6,8	(+1) 81,0	(-1) 21,0	1	20
5	(-1) 3,2	(-1) 39,0	(+1) 31,0	2	100
6	(+1) 6,8	(-1) 39,0	(+1) 31,0	1	100
7	(-1) 3,2	(+1) 81,0	(+1) 31,0	1	100
8	(+1) 6,8	(+1) 81,0	(+1) 31,0	2	86
9	(0) 5,0	(0) 60,0	(0) 25,0	2	100
10	(0) 5,0	(0) 60,0	(0) 25,0	2	100
11	(0) 5,0	(0) 60,0	(-1,76) 15,0	1	23
12	(0) 5,0	(0) 60,0	(+1,76) 35,0	2	100
13	(0) 5,0	(-1,76) 25,0	(0) 25,0	1	100
14	(0) 5,0	(+1,76) 95,0	(0) 25,0	2	1
15	(-1,76) 2,0	(0) 60,0	(0) 25,0	1	100
16	(+1,76) 8,0	(0) 60,0	(0) 25,0	2	100

*Bloco: 1- sem agitação e 2- com agitação, a 13.000 rpm, 10 min.



Figura 4.8 - Formação de gel de inulina em tubos de vidro graduados, após 24 horas.

Tabela 4.6 - Análise de variância (ANOVA) para as seguintes variáveis: temperatura, temperatura quadrática, concentração e concentração quadrática e seus efeitos.

	SQ	GL	MQ	F _{calc}	F _{tab 10,5}
Regressão	19743,5	10	1974,3	221,8	10,05
Erro	44,5	5	8,9		
SQ _{total}	22739,4	15			

Tabela 4.7 - Efeitos das variáveis sobre o VGI.

	Efeito	dp	nível p	LC -5%	LC +5%
Média	107,1	2,3	0,0	101,1	113,1
Agitação	-7,2	1,8	0,0	-11,8	-2,6
pH (L)	1,1	1,7	0,6	-3,3	5,4
pH (Q)	-2,3	2,2	0,3	-7,8	3,3
T (L)	-46,9	1,7	0,0	-5,2	-42,6
T (Q)	-37,9	2,2	0,0	-43,5	-32,4
C (L)	36,8	1,5	0,0	32,8	40,8
C (Q)	-20,5	1,5	0,0	-24,4	-16,6
pH×T	-0,2	2,1	0,9	-5,7	5,2
pH×C	-7,0	2,1	0,0	-12,4	-1,6
T×C	39,8	2,1	0,0	34,4	45,2

A análise estatística do sistema apresentou um coeficiente de determinação de 99,8% a um nível de significância de 1%. Da Tabela 4.6 tem-se que a regressão é significativa, podendo ser utilizada para previsão, uma vez que o valor de F experimental é muito maior que F tabelado. Quanto aos efeitos, pode-se observar que são significativos os efeitos dos blocos (agitação), temperatura e concentração, tanto os termos lineares como quadráticos. A agitação diminui o volume de gel formado em cerca de 7%, juntamente com a T(L), T(Q) e C(Q), os quais diminuem o volume de gel em cerca de 47, 38 e 20%, respectivamente. A temperatura é que exerce a maior influência na diminuição do volume de gel, indicando que temperaturas excessivamente altas não permitem a

manutenção da água dentro da estrutura coloidal. Esta diminuição também é observada no efeito de interação entre o pH e a concentração, $pH \times C$. Efeitos positivos sobre o volume de gel formado, e, portanto com aumento deste volume, são observados nos termos da $C(L)$ e no efeito de segunda ordem $T \times C$. Não se observa influência significativa do pH.

Levando em consideração apenas os termos significativos, o modelo reduzido é dado na Equação (4.1):

$$VGI = 107,1 - 3,6 \text{ Agitação} - 23,5T - 19,0T^2 + 18,4C - 10,3C^2 - 3,5 pH C + 19,9TC \quad (4.1)$$

A Figura 4.9 mostra as curvas de nível geradas pelo modelo. Pode-se observar destas figuras que o volume de gel máximo é atingido para temperaturas médias, preferivelmente de 35 a 60°C, e concentrações de 20 a 38%. O VGI diminui muito quando a temperatura aumenta acima de 70°C.

Acredita-se que o efeito negativo do aquecimento sobre o VGI deve-se a uma possível hidrólise da inulina a partir de um certo limite de temperatura. Já quando a solução é submetida a temperaturas moderadas, as cadeias de inulina apresentam maior mobilidade em solução, devido ao aumento da energia cinética, e deste modo o melhor contato entre as cadeias torna mais fácil a formação de gel durante o resfriamento da solução (WANG *et al.*, 2001).

Com o aumento da concentração o VGI aumentou gradativamente, até alcançar valores próximos ou iguais a 100%. Para concentrações menores que 10%, a solução de inulina não formou gel, de acordo com testes preliminares realizados. Isto se deve ao fato de que a baixas concentrações, o sistema não possui partículas e/ou densidade molecular das cadeias de inulina suficientes para alcançar o efeito de aglomeração crítica (*crowding effect*) e resultar na formação do gel. Por exemplo, a partir de concentrações acima de 10% de inulina em solução, há formação de gel, mesmo em temperaturas mais baixas, como em 25°C. De acordo com os resultados obtidos a partir do planejamento experimental, para a concentração de 15%, o VGI foi de aproximadamente 23% a pH 5,0, na temperatura de 60°C e sem agitação. Para concentração de 21% e pH 3,2 e 6,8 e temperatura de aquecimento a 39°C, o VGI foi de 100%, porém para a mesma concentração e temperatura de aquecimento a 81°C, houve um decréscimo no VGI, mostrando o efeito negativo da temperatura a partir de um certo limite.

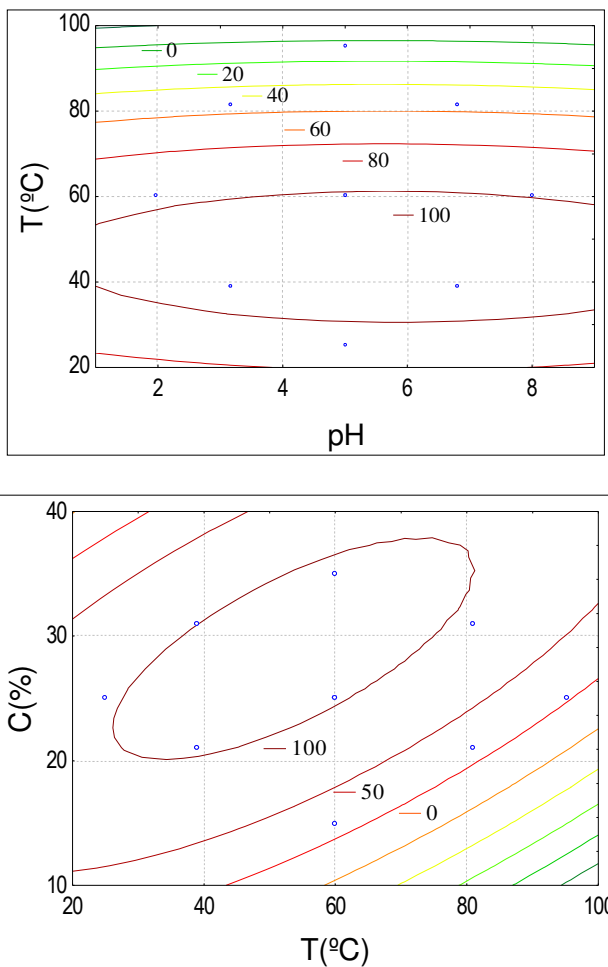


Figura 4.9 - Curvas de nível para o VGI em função: a) da Temperatura e pH, para $C=25\%$ e b) da Concentração e Temperatura, a $pH=5$.

4.2.2 ANÁLISE DE TEXTURA

FORÇA DO GEL, FG

A Tabela 4.8 mostra o planejamento experimental utilizado e as respostas obtidas para as análises de textura, em que FG é a força do gel (g), CT a consistência (g.s), FA a força de adesão (g) e AD a

adesividade (g.s). A Análise de Variância ANOVA e os efeitos de cada variável para a força do gel são mostrados nas Tabelas 4.9 e 4.10, respectivamente. O modelo é dado na Equação (4.2).

Tabela 4.8 - Textura do gel de inulina segundo planejamento fatorial composto.

ENSAIOS	FATORES				RESPOSTAS			
	C (%)	T (°C)	t (min)	Blocos (rpm)	FG	CT	FA	AD
1	(-1) 28,2	(-1) 40	(-1) 8	13.000	87,68	360,20	55,83	27,27
2	(-1) 28,2	(-1) 40	(+1) 17	13.000	117,94	474,36	70,74	31,79
3	(-1) 28,2	(+1) 80	(-1) 8	13.000	16,73	49,51	0*	0*
4	(-1) 28,2	(+1) 80	(+1) 17	13.000	5,75	15,84	0*	0*
5	(+1) 36,7	(-1) 40	(-1) 8	13.000	185,26	717,46	125,61	52,54
6	(+1) 36,7	(-1) 40	(+1) 17	13.000	252,93	918,01	166,52	68,36
7	(+1) 36,7	(+1) 80	(-1) 8	13.000	679,63	1943,0	355,21	72,33
8	(+1) 36,7	(+1) 80	(+1) 17	13.000	92,80	427,79	58,49	24,24
9	(0) 32,5	(0) 60	(0) 12,5	13.000	277,97	891,72	196,46	58,05
10	(0) 32,5	(0) 60	(0) 12,5	13.000	298,96	985,52	173,56	59,34
11	(-α) 25,0	(0) 60	(0) 12,5	22.000	56,68	250,27	38,67	19,0
12	(+α) 40,0	(0) 60	(0) 12,5	22.000	518,75	1489,57	263,58	68,41
13	(0) 32,5	(-α) 25	(0) 12,5	22.000	165,78	619,68	129,23	48,28
14	(0) 32,5	(+α) 95	(0) 12,5	22.000	31,11	109,80	0*	0*
15	(0) 32,5	(0) 60	(-α) 5	22.000	342,42	1105,0	192,52	83,55
16	(0) 32,5	(0) 60	(+α) 20	22.000	288,30	1138,82	174,41	74,26
17	(0) 32,5	(0) 60	(0) 12,5	22.000	387,27	1399,10	269,23	82,0
18	(0) 32,5	(0) 60	(0) 12,5	22.000	158,43	587,23	96,20	33,76

*O valor zero foi atribuído onde não foram detectados valores das respostas devido à falta de sensibilidade do equipamento na condição de estudo.

Tabela 4.9 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a Força do Gel, FG.

	SQ	GL	MQ	F _{calc}	F _{tab 7.10}
Regressão	460653,6	7	65807,7	6,6	3,14
Erro	99783,8	10	9978,4		
SQ _{total}	560437,4	17			

Tabela 4.10 - Efeitos das variáveis sobre a Força do gel.

	Efeito	dp	nível p	LC -5%	LC +5%
Média	274,7	30,5	0,0	206,6	342,7
Agitação	38,5	46,9	0,4	-66,0	143,0
t (L)	-86,4	53,7	0,1	-206,1	33,3
T (Q)	-135,4	49,9	0,0	-246,7	-24,0
C (L)	252,8	52,4	0,0	135,9	369,7
t×T	-173,9	69,9	0,0	-329,7	-18,1
t×C	-134,1	69,9	0,0	-289,9	21,6
T×C	128,6	69,9	0,0	-27,2	284,4

$$\begin{aligned}
 FG = & 274,67 \pm 30,5 + 19,25 \pm 23,46 \text{ Agitação} - 43,21 \\
 & \pm 26,86t - 37,68 \pm 24,99T^2 + 126,41 \pm 26,22C - 6,97 \\
 & \pm 34,97tT - 67,08 \pm 34,97tC + 64,32 \pm 34,96TC
 \end{aligned} \quad (4.2)$$

A análise estatística do sistema apresentou um coeficiente de determinação de 82% a um nível de significância de 5%.

De acordo com a Tabela 4.9 tem-se que a regressão é significativa, não podendo ser utilizada para previsão, uma vez que o valor de F experimental é menor que 4 a 5 vezes o valor de F tabelado. Na Tabela 4.10 são mostrados os efeitos de maior magnitude, embora dentre eles sejam significativos apenas os efeitos quadráticos da temperatura, T(Q), linear da concentração, C(L) e cruzado t×T. Os demais efeitos mostrados, apesar de não significativos, também serão usados no modelo com o objetivo de não diminuir demasiado a qualidade em descrever os resultados.

Analisando apenas os efeitos significativos, observa-se que a temperatura e o tempo diminuem a força do gel à medida que

aumentam, enquanto que o termo linear da concentração aumenta FG. Por exemplo, de acordo com os resultados mostrados na Tabela 4.8, para uma concentração de 28,2% de inulina e temperatura de 40°C, a força do gel foi de 87,68 g ou 0,8601 N. Já para a mesma concentração de 28,2% de inulina e aumentando a temperatura para 80°C, a força do gel diminuiu para 16,73 g ou 0,1641 N.

Os dados obtidos para a força do gel estão de acordo com aqueles encontrados por Wang *et al.* (2001), que observaram aumentos na força do gel de 14,26 g para 45,26 g quando a concentração de inulina passou de 10% a 15% e para 68,61 g quando a concentração de inulina aumentou para 20%, a uma temperatura de 70°C. Porém, com um aumento da temperatura para 80°C e utilizando mesmas concentrações de inulina, não apresentou valores significativos para FG. Chiavarro *et al.* (2007), também analisaram a força do gel de um tipo de inulina de alta massa molecular, e para uma concentração de 40% a 25°C a força do gel foi de 0,78 N, enquanto que a uma concentração de 60% a 25°C a força do gel foi de 1,57 N.

A Figura 4.10 traz a superfície de resposta e a Figura 4.11, as curvas de nível encontradas para o sistema. Os valores mais altos de FG encontram-se entre 38 a 40% de concentração e 60 a 80°C de temperatura.

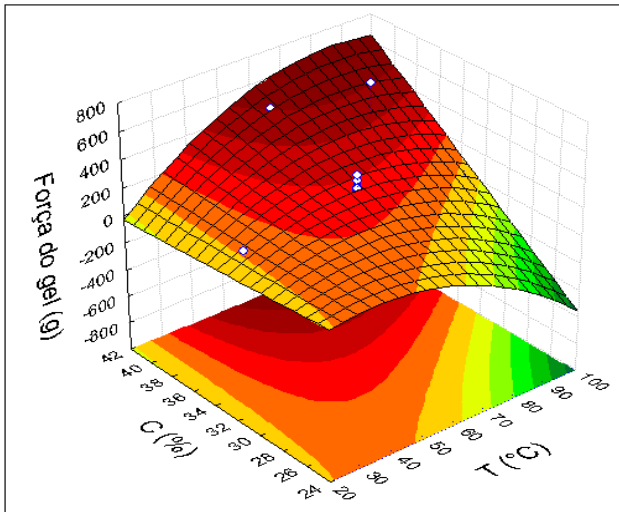


Figura 4.10 - Superfície de resposta para a Força do Gel em função da concentração e temperatura.

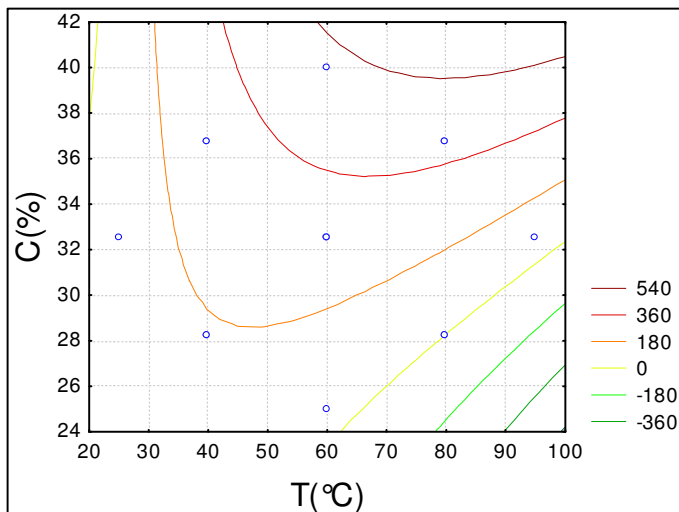


Figura 4.11 - Curvas de nível para a Força do Gel em função da concentração e temperatura.

CONSISTÊNCIA, CT

A Análise de Variância ANOVA e os efeitos de cada variável para a consistência, CT, são mostrados nas Tabelas 4.11 e 4.12, respectivamente. O modelo é dado na Equação (4.3).

Tabela 4.11 - Análise de variância (ANOVA) para o modelo representativo da Consistência, CT.

	SQ	GL	MQ	F _{calc}	F _{tab 7.10}
Regressão	3893187,0	7	556169,6	5,8	3,14
Erro	944868,0	10	94486,8		
SQ _{total}	4838055,0	17			

Tabela 4.12 - Efeitos das variáveis sobre a Consistência.

	Efeito	dp	nível p	LC -5%	LC +5%
Média	986,8	123,1	0,0	712,6	1261,2
Agitação	146,3	149,2	0,3	-186,2	478,7
T (Q)	-461,3	162,2	0,0	-822,5	-100,0
C (L)	745,4	166,7	0,0	373,9	1117,0
C (Q)	-129,4	159,7	0,4	-485,3	226,4
t×T	-465,9	222,3	0,0	-961,4	29,6
t×C	-348,6	222,3	0,1	-844,0	146,9
T×C	373,5	222,3	0,1	-121,9	868,9

$$\begin{aligned}
 CT = & 986,89 \pm 123,1 + 73,14 \pm 74,6 \text{ Agitação} - 230,65 \\
 & \pm 81,07t + 372,73 \pm 83,37T^2 - 64,72 \pm 79,86C - 232,95 \quad (4.3) \\
 & \pm 111,2tT - 174,3 \pm 111,2tC + 186,73 \pm 111,2TC
 \end{aligned}$$

A análise estatística do sistema mostrou um coeficiente de determinação de 80% a um nível de significância de 5%, ao considerar todos os efeitos primários e secundários no sistema. O modelo, segundo a Tabela 4.11, mostra ser estatisticamente significativo e representativo dos resultados, porém sem capacidade de previsão.

Do mesmo modo que foi feito para FG, a Tabela 4.12 traz os efeitos de maior magnitude sobre a CT. Dentre eles apenas T(Q), C(L) e cruzado t×T, são significativos, o primeiro diminuindo a consistência ao passar da temperatura de 25 a 95°C, e o segundo aumentando a consistência ao passar de concentração 25 para 40%. Os demais termos aumentam ou diminuem a consistência de acordo com os sinais apresentados na tabela. Abaixo, as Figuras 4.12 e 4.13 trazem as curvas de superfície de resposta e as curvas de nível encontradas para a consistência, respectivamente, ambas em função da concentração e da temperatura.

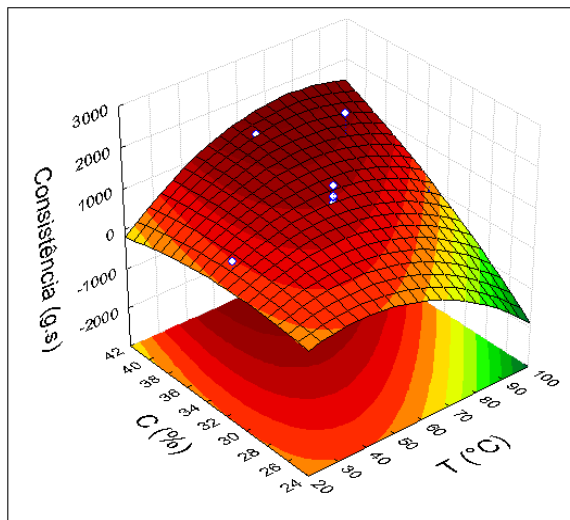


Figura 4.12 - Superfície de resposta para a Consistência em função da concentração e temperatura.

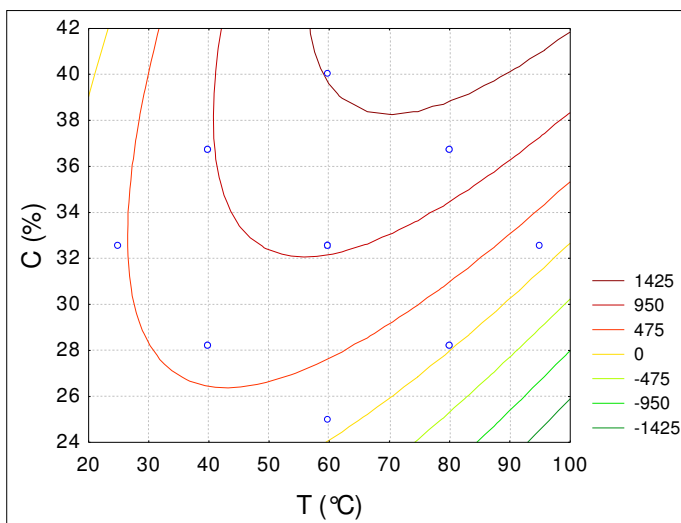


Figura 4.13 - Curvas de nível para Consistência em função da concentração e temperatura.

Aos valores de maior consistência podem ser encontrados entre concentração de inulina de 38 a 40% a temperaturas de 60 a 70°C.

FORÇA DE ADESÃO, FA

A Análise de Variância, ANOVA, e os efeitos de cada variável para a força de adesão, FA, são mostrados nas Tabelas 4.13 e 4.14, respectivamente, e as Figuras 4.14 e 4.15 trazem a superfície de resposta e as curvas de nível, respectivamente, encontradas para o sistema. O modelo é dado na Equação (4.4).

Tabela 4.13 - Análise de variância (ANOVA) para a Força de Adesão, FA.

	SQ	GL	MQ	F _{calc}	F _{tab 7.10}
Regressão	131783,7	7,0	18826,2	4,2	3,14
Erro	43985,3	10	4398,5		
SQ _{total}	175769,0	17			

Tabela 4.14 - Efeitos das variáveis sobre a Força de Adesão.

	Efeito	dp	nível p	LC -5%	LC +5%
Média	163,5293	20,3	0,0	118,2	208,8
Agitação	23,2238	31,2	0,4	-23,1	46,4
t (L)	-39,6707	35,7	0,2	-59,7	20,1
T (Q)	-79,5925	33,3	0,0	-76,9	-2,7
C (L)	137,3199	34,9	0,0	29,8	107,5
t×T	-88,1350	46,5	0,0	-95,9	7,8
t×C	-67,4382	46,5	0,1	-85,6	18,1
T×C	61,3633	46,5	0,2	-21,2	82,5

$$\begin{aligned}
 \text{FA} = & 163,52 \pm 20,33 + 11,61 \pm 15,62 \text{ Agitação} - 19,83 \\
 & \pm 17,88t - 9,8 \pm 16,63T^2 + 68,66 \pm 17,45C - 44,06 \\
 & \pm 23,3tC + 30,7 \pm 23,3TC
 \end{aligned} \quad (4.4)$$

A análise estatística do sistema apresentou um coeficiente de determinação de 75% a um nível de significância de 5% e, de modo similar às outras propriedades, de acordo com a Tabela 4.13 tem-se que a regressão é significativa, não podendo ser utilizada para previsão. Quanto aos efeitos (Tabela 4.14), observa-se que são significativos apenas T(Q), C(L) e cruzado txT, onde o primeiro aumenta e o segundo diminui FA. Os demais efeitos (agitação, t(L), txT, txC e TxC) não são significativos estatisticamente, mas foram usados no modelo para melhor descrever os resultados obtidos. Cada um deles contribuiu para o cálculo de FA de acordo com os sinais apresentados pelo respectivo efeito.

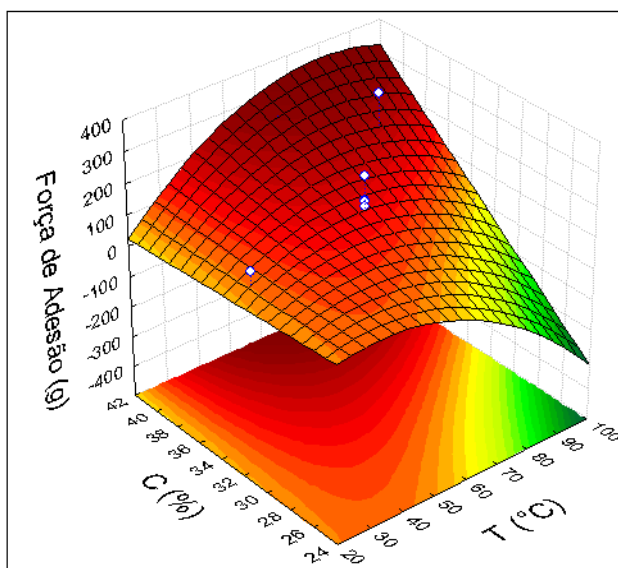


Figura 4.14 - Superfície de resposta para a Força de Adesão em função da Concentração e Temperatura.

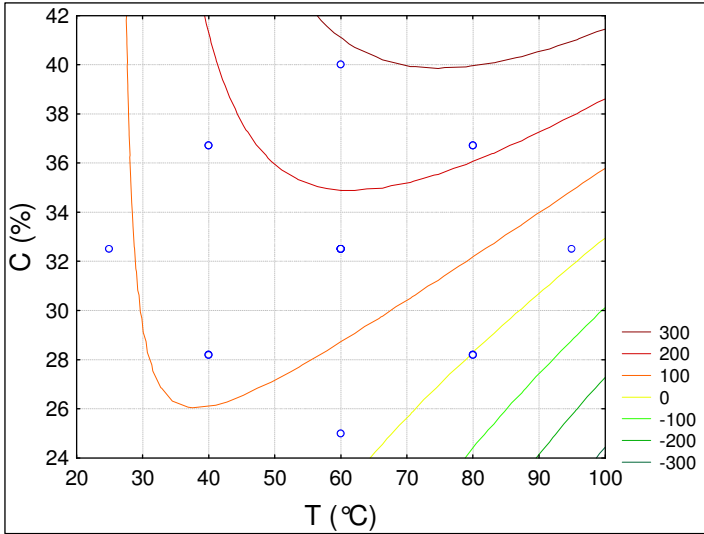


Figura 4.15 - Curvas de nível para a Força de Adesão em função da Concentração e Temperatura.

Aos valores de maior força de adesão podem ser encontrados entre concentração de inulina de 38 a 40% à temperaturas de 60 a 70°C.

ADESIVIDADE, AD

A Análise de Variância ANOVA e os efeitos de cada variável para a Adesividade são mostrados nas Tabelas 4.15 e 4.16, respectivamente. O modelo é dado na Equação (4.5).

Tabela 4.15 - Análise de variância (ANOVA) para a Adesividade, AD.

	SQ	GL	MQ	F_{calc}	$F_{\text{tab 7.10}}$
Regressão	11119,4	7,0	1588,5	5,9	3,14
Erro	2670,6	10	267,1		
SQ_{total}	13790,0	17			

Tabela 4.16 - Efeitos das variáveis sobre a Adesividade, AD.

	Efeito	dp	nível p	LC -5%	LC +5%
Média	58,1	7,8	0,0	40,8	75,4
Agitação	11,4	7,4	0,1	-4,9	27,9
t (Q)	9,1	8,9	0,3	-10,8	29,1
T (L)	-23,7	8,3	0,0	-42,2	-5,4
T (Q)	-27,4	8,2	0,0	-45,7	-9,0
C (L)	34,7	8,2	0,0	16,3	53,0
C (Q)	-14,4	8,1	0,1	-32,4	3,7
t×T	-17,1	10,9	0,1	-41,5	7,3

$$\begin{aligned}
 AD = & 58,14 \pm 7,76 + 5,73 \pm 3,72 \text{Agit} + 4,55 \pm 4,47 t^2 \\
 & - 11,88 \pm 4,13 T - 13,68 \pm 4,11 T^2 + 17,34 \pm 4,11 C \\
 & - 7,19 \pm 4,05 C^2 - 8,55 \pm 5,48 t^2 T
 \end{aligned} \quad (4.5)$$

Para a adesividade, AD, a análise estatística do sistema apresentou um coeficiente de determinação de 83% a um nível de significância de 5%. Do mesmo modo que para as respostas anteriores, e de acordo com a Tabela 4.15, tem-se que a regressão é significativa, mas não pode ser utilizada para previsão, uma vez que o valor de F experimental não é muito maior que F tabelado.

Da Tabela 4.16, depreende-se que os efeitos T(L), T(Q) e C(L), influem significativamente na adesividade, a temperatura diminuindo e a concentração aumentando a AD. Os demais fatores contribuem para a propriedade de forma relativamente uniforme, na medida de suas magnitudes e na direção de seus sinais.

A adesividade do gel pode ser definida como sendo o trabalho necessário para superar a força atrativa entre o material analisado e a outra superfície de contato. Como a temperatura aumenta a energia cinética das partículas e a solubilidade do fluido, a adesão e todas as outras forças intermoleculares que estão organizadas e formam a estrutura do gel semi-sólido analisadas no texturômetro, irão diminuir conseqüentemente com o aumento da temperatura. O termo principal da concentração aumenta consideravelmente a adesividade, pois com o

aumento de moléculas de inulina em solução, que posteriormente formará o gel, haverá um aumento na firmeza e nas outras forças de interação relacionadas anteriormente, que são responsáveis pela textura do material analisado.

As Figuras 4.16 e 4.17 mostram a superfície de resposta e as curvas de nível, respectivamente, encontradas para a adesividade.

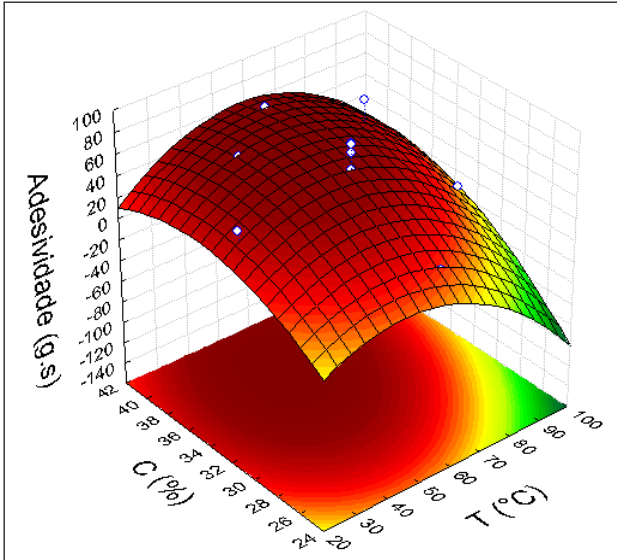


Figura 4.16 - Superfície de resposta para a Adesividade em função da concentração e temperatura.

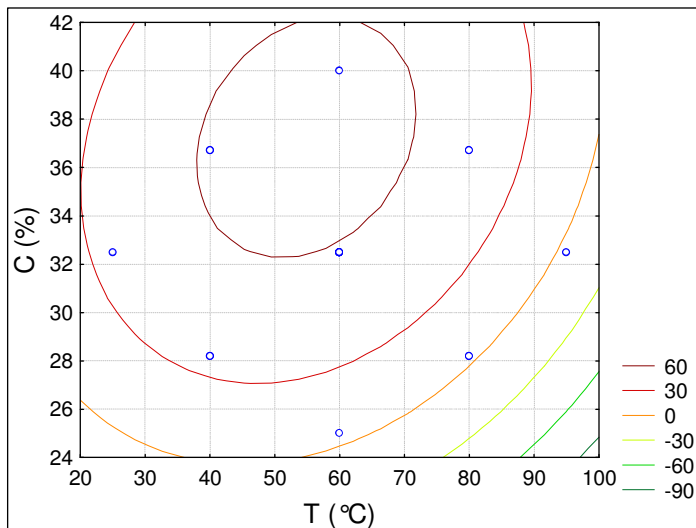


Figura 4.17 - Curvas de nível para a Adesividade em função da Concentração e Temperatura.

Segundo as Figuras 4.16 e 4.17, a máxima adesividade é atingida em concentrações de 37% e a temperaturas de 55°C, aproximadamente.

No que se refere à viscosidade, como os aumentos de concentração e temperatura influem nesta propriedade de formas opostas, o teste de Duncan colocou em evidência situações de diferença significativa nos valores. Observou-se que todos os modelos descreveram de forma satisfatória o comportamento destas soluções e de acordo com os dados experimentais ajustados aos modelos de Ostwald-De-Waele e Herschel-Bulkley, que mostraram que o índice de comportamento (n) do fluido possui valor muito próximo a um, e o fluido pode ser representado pelo modelo de Newton. As soluções de inulina GR, que possui maior massa molecular, com concentrações até 20% m/m, apresentaram relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação aplicada e podem ser adequadamente descritas pelo modelo Newtoniano, enquanto que a solução com concentração 30% m/m, que mostrou a formação de gel, apresentou um comportamento tixotrópico observado pela presença de histerese no gráfico de viscosidade em função da taxa de deformação aplicada, para os dados da curva ascendente e descendente. Por meio da análise estatística, verificou-se que existem diferenças entre as concentrações de 20% e 30% nas temperaturas de 25 e 40°C, e diferenças entre as concentrações de 15% e 20% na temperatura de 85°C. Em relação ao efeito da temperatura, houve diferença significativa para todas as concentrações a 85°C, e apenas para a concentração de 30%, houve diferença significativa em todas as temperaturas estudadas. Quanto às soluções de inulina de cadeia curta, P95, todas apresentaram um comportamento tipicamente newtoniano. Pelos testes estatísticos, verificou-se que a temperatura possui efeito mais forte que a concentração, uma vez que todas as temperaturas influenciaram na diminuição da viscosidade, com exceção das soluções a 10% aquecidas a 20 e 40°C. Para a concentração, foram notadas diferenças significativas, de um modo geral, a partir de concentração de 60%. Em todas as soluções estudadas, tanto para a inulina de cadeia longa, quanto para a inulina de cadeia curta, a viscosidade aumentou com o aumento da concentração e diminuiu com o aumento da temperatura.

Com relação aos resultados do índice volumétrico de gel, VGI, a aplicação da metodologia da superfície de resposta, MSR, permitiu avaliar as principais variáveis que afetam a formação do gel de inulina. Através da análise de variância (ANOVA), observou-se que são

significativos os efeitos dos blocos (agitação), temperatura e concentração, tanto os termos lineares como quadráticos. A agitação diminuiu o volume de gel formado em cerca de 7%, juntamente com a T(L), T(Q) e C(Q), os quais diminuíram o volume em cerca de 47, 38 e 20%, respectivamente. A temperatura exerceu a maior influência na diminuição do volume de gel, indicando que temperaturas excessivamente altas não permitem a manutenção da água dentro da estrutura coloidal. Com o aumento da concentração o VGI aumentou gradativamente, até alcançar valores próximos ou iguais a 100%. Sua formação é favorecida a temperaturas moderadas; porém, sob altas temperaturas e intensa agitação a formação do gel diminuiu consideravelmente. Através das curvas de nível geradas pelo modelo, observou-se que o volume de gel foi máximo em temperaturas moderadas, entre 35 a 60°C e para concentrações, entre 20 a 35%. Não foi observada influência significativa do pH nos valores estudados.

De acordo com os resultados analisados para a textura, todos os parâmetros estudados, como a força do gel, a consistência, a força de adesão e a adesividade, dependeram significativamente dos termos concentração linear e temperatura quadrática. Para a adesividade, particularmente, os dois termos da temperatura influenciaram significativamente. Como a temperatura aumenta a energia cinética das partículas e a solubilidade do fluido, a adesão e todas as outras forças intermoleculares que estão organizadas e formam a estrutura do gel semi-sólido analisada no texturômetro, diminuíram com o aumento da temperatura. Os demais fatores contribuíram para as propriedades de forma relativamente uniforme, na medida de suas magnitudes e na direção de seus sinais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMED, N. H.; SODA, M. El; HASSAN, A. N.; FRANK, J. Improving the textural properties of an acid-coagulated (Karish) cheese using exopolysaccharide producing cultures. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, v.38, p.843-847, 2005.
- ALFAYA, A., KUBOTA, L. A utilização de materiais obtidos pelo processo sol-gel na construção de biossensores. *Química Nova*, v.5, p.835-841, 2002.
- AMERINE, M. A.; PANGBORN, R. M.; ROESSLER, E. B. Principles of Sensory Evaluation of Foods. Academic Press, New York, 1965.
- ANZALDÚA-MORALES, A. La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. Zaragoza: Acribia, p.198, 1994.
- BARROS, N. B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria. 2ª ed. Campinas: Editora da UNICAMP, p.401, 2002.
- BELLO, J. Os Alimentos Funcionais e Nutracêuticos: Nova gama de produtos na indústria alimentícia, São Paulo, 1995.
- BIRD, R. B.; STEWART, W. E.; LIGHTFOOT, E. N. Transport Phenomena. John Wiley & Sons Inc, New York – London, 1960.
- BISHAY, I. E. Rheological characterization of inulin. *Royal Society of Chemistry*, v.9, London, 1998.
- BONDT, V. Novas Tendências para Bebidas Funcionais. *Revista Brasil Alimentos*, n.18, 2003.
- BOT, A.; ERLE, U.; VREEKER, R.; AGTEROF, W. G. M. Influence of crystallization conditions on the large deformation rheology of inulin gels. *Food Hydrocolloids*, v.18, n.4, p.547-556, 2004.

BOX, G. E. P.; HUNTER, W. G.; HUNTER, J. S. Statistics for experimenters: an introduction to design, data analysis and model building. ed. New York: John Wiley & Sons, p.653, 1978.

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

CAPITO, S. M.; FILISETTI, T. M. C. C. Inulina: Um ingrediente alimentar promissor. Cadernos de Nutrição, Sociedade Brasileira de Alimentação e Nutrição, v.18, p.1-11, 1999.

CARDELLO, A. V. The role of the human senses in food behavior II Texture. *Cereal Foods World*, v.41, p.469-470, 1996b.

CARPITA, N. C.; KAMABUS, J.; HOUSLEY, T. L. Linkage structure of fructans and fructan oligomers from *Triticum astivum* and *Fistuca arundinaceae* leaves. *J. Plant. Physiol.*, v.134, p.162-168, 1989.

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

CHIAVARRO, E.; VITTADINI, E.; CORRADINI, C. Physicochemical characterization and stability of inulin gels. *Eur Food Res Technol*, v.225, p.85-94, 2007.

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

DEYRMENDJIAN, E.; NOGUEIRA, R. I.; PARK, K. J. Secagem por atomização de extrato de inulina de chicória (*Cichorium intybus*). Faculdade de Engenharia Agrícola - FEAGRI, UNICAMP, 2001.

DINIZ, F. M.; MARTIN, A. M. Use of response surface methodology to describe the combined effects of pH, temperature and e/s ratio on the hydrolysis of dogfish (*Squalus acanthias*) muscle. *International Journal of Food Science and Technology*. Oxford. v.31, n.5, p.19-426, 1996.

ERDEM, Y. K. Effect of ultrafiltration, fat reduction and salting on textural properties of white brined cheese. *Journal of Food Engineering*, v.71, p.366-372, 2005.

FALCONE, P. M.; CHILLO, S.; GIUDICI P.; DEL NOBILE, M. A. Measuring rheological properties for applications in quality assessment of traditional balsamic vinegar: description and preliminary evaluation of a model. *Journal of Food Engineering*, v.80, p.234-240, 2007.

FERREIRA, V. L. P.; ALMEIDA, T. C. A.; PETTINELLI, M. L. C. V.; SILVA, M. A. A. P.; CHAVES, J. B. P.; BARBOSA, E. M. M. Análise sensorial: testes discriminativos e afetivos. Manual: série qualidade. Campinas, SBCTA, p.127, 2000.

FIALA, V.; JOLIVET, E. Variations quantitatives em composés azotes et glucidiques de raciness d'asperges, mâles et femelles, au cours de leur première année de culture. *Agronomie*, v.2, p.735-740, 1982.

FIORDALISO, M.; KOK, N.; DESAGER, J. P.; GOETHALS, F.; DEBOYSER, D.; POBERFROID, M.; DELZENNE, N. Dietary oligofructose lower triglycerides phospholipids and cholesterol in serum and very low density lipoproteins if rats. *Lipids*, v.30, n.2, p.163-167, 1995.

FRANCK, A. Technological functionality of inulin and oligofructose. *British Journal of Nutrition*, v.87, supl.2, p.287-291, 2002.

FRANCK, A.; LEENHEER, L. D. Inulin, Polysaccharides and Polyamides in the Food Industry (livro). Technology & Industrial Arts. Cap.8, Wiley - VCH, 2005.

GRUHN, E. Inulin-dietary fiber from chicory and fructose syrups processed thereof. *Food Process*, v.6, p.7, 1994.

HALMOS, A. L.; TIU, C. Liquid foodstuffs exhibiting yield stress and sheardegradability. *Journal Texture Studies*, v.12, p.39-46, 1981.

HARRIS, D. C. Análise química quantitativa. Trad. C. A. S Riehl e A. W. S Guarino. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

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

HAULY, M. C. O. Inulina de dália: extração e avaliação da hidrólise e dos efeitos biológicos dos subprodutos. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, p.185, 1991.

HAULY, M. C. O.; MOSCATTO, J. A. Inulina e Oligofrutoses: uma revisão sobre propriedades funcionais, efeito prebiótico e importância na indústria de alimentos. *Semina: Ciências Exatas e Tecnologia*, v.23, p.105-118, 2002.

HÉBETTE, C. L. M.; DELCOUR, J. A.; KOCH, M. H. J. Complex melting of semi-crystalline chicory (*Cichorium intybus* L.) root inulin. *Carbohydrate Research*, v.310, n.1-2, p.65-75, 1998.

HENNELLY, P. J.; DUNNE, P. G.; O_SULLIVAN, M.; O_RIORDAN, E. D. Textural, rheological and microstructural properties of imitation cheese containing inulin. *Journal of Food Engineering*, v.75, p.388-395, 2006.

HOEBREGS, H. Fructans in foods and food products, ion-exchange chromatographic method: collaborative study. *J. Assoc. Off. Anal. Chem Int.*, v.80, p.1029-1037, 1997.

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

KAYA, A.; SÖZER, N. Rheological behaviour of sour pomegranate juice concentrates (*Punica granatum* L.). *International Journal of Food Science and Technology*, v.40, p.223-227, 2005.

KONSTANCE, R. P. Axial Compression properties of calcium caseinate gels. *Journal Dairy Science*, v.76, p.3317-3326, 1993.

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

KULMYRZAEV, A.; DUFOUR, É.; NOE, Y.; HANAFI, M.; KAROUI, R.; QANNARI, E. M.; MAZEROLLES, G. Investigation at the molecular level of soft cheese quality and ripening by infrared and fluorescence spectroscopies and chemometrics - relationships with rheology properties. *International Dairy Journal*, v.15, p.669-678, 2005.

LABA, D. Rheological properties of cosmetics and toiletries. New York: Marcel Dekker, p.09-33, 1993.

LAJOLO, F. M. Alimentos funcionais: uma visão geral. In: ANGELIS, R. C. Importância de alimentos vegetais na proteção da saúde, São Paulo: Editora Atheneu, 2001.

LAURENZO, K. S.; NAVIA, J. L.; NEIDITCH, D. S. Preparation of inulin products. USA Patent number 5968365, 1999.

LEONARDI, G. R.; MAIA, C. P. M. B. G. Estabilidade de formulações cosméticas. *International Journal of Pharmaceutical Compounding*, v.3, n.4, p.154-156, 2001.

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

MATZ, S. A. Food Texture. Avi. Westport, Connecticut, 1962.

MCCLEMENTS, J. *Food Biopolymers and Colloids Research Laboratory*, University of Massachusetts. Disponível em: <<http://www.unix.oit.umass.edu/~mcclemen/581Rheology.html>>, acesso em 16/12/2009.

MEILGAARD, M.; CIVILLE, G. V.; CARR, B. T. Sensory evaluation techniques. 3rd. New York: CRC, p.281, 1999.

MIZRAHI, S.; BERK, Z. Flow behaviour of concentrated orange juice: mathematical. *Journal of Texture*, v.3, n.1, p.69-79, 1972.

MONTAN, M. As fibras invisíveis, Revista Brasil Alimentos, v.4, n.19, 2003.

MORRIS, E. R. Polysaccharide Rheology and In-Mouth Perception. New York: Marcel Dekker, p.517-546, 1995.

MÚLLER, V. Alimentos Funcionais, Revista Laticínios, v.6, n.34, 2001.

NEVEN, E. Inulina e oligofrutose - ingredientes multifuncionais para o desenvolvimento de produtos lácteos, Revista Leite e Derivados, v.11, n.6, 2001.

NILSSON, U.; DAHLQUIST, A. Cereal fructosans characterization and structure of wheat fructans. *Food Chem.*, v.22, p.95-106, 1986.

NINESS, K. R. Inulin and oligofrutose: what are they? *Journal of Nutrition*, v.129, p.1402-1406, 1999.

NITSCHKE, M.; UMBELINO, D. C. Frutooligossacarídeos: Novos Alimentos Funcionais, SBCTA, v.1, n.36, 2002.

NOGUEIRA, I. R. Processo de obtenção de inulina de chicória (*Chicorium intybus*) em pó. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia de Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, p.113, 2002.

O'BRIEN, C. M. *et al.* Evaluation of the effects of fat replacers on the quality of wheat bread. *Journal of Food Engineering*. Oxford, v.56, n.2-3, p.265-267, 2003.

OKEY, R.; WILLIAMS, A. W. On inulin in the globe artichoke. *J. Am. Chem. Soc.*, v.42, p.1693-1696, 1920.

OTTEWILL, G. The colloid chemistry of natural waters. *Education in Chemistry*, p.160-162, 1998.

PENNA, E. W. Métodos sensoriales y sus aplicaciones, p.13-22, 1999. In: ALMELDA, T. C. A.; HOUGH, G.; DAMASIO, M. H.; SILVA, M. A. A. P. Avanços em análise sensorial. São Paulo: Varela, p.286, 1999.

PONS, M.; FISZMAN, S. M. Instrumental texture profile analysis with particular reference to gelled systems. *Journal of Texture Studies*, v.27, p.597-624, 1996.

POSSA, M. V.; de LIMA, J. R. B. Comportamento reológico de polpas de minério. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, Série Tecnologia Mineral, v.37, p.2000, 1977.

QUEMENER, B.; THIBAUT, J. F.; COUSSEMENT, P. Determination of inulin and oligofructose in food products and integration in the AOAC method for measurement of total dietary fibre. *LWT*, v.27, p.125-132, 1994.

QUEMENER, B.; THIBAUT, J. F.; COUSSEMENT, P. Integration of inulin determination in the AOAC method for measurement of total dietary fiber. *Int. J. Biol. Macrom.*, v.21, p.175-178, 1997.

QUINTEROS, E. T. T. Produção com tratamento enzimático e avaliação do suco de yacon. Tese, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 2000.

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

RAO, M. A. Predicting the flow properties of food suspensions of plant origin: mathematical models help clarify the relationship between composition and rheological behavior. *Food Technology*, p.85-88, 1987.

RAO, M. A. Rheological properties of fluid foods. In: RAO, M. A.; RIZVI, S. S. H. *Engineering properties of foods*. New York: MARCEL DEKKER, Cap. 5, p.1-47, 1986.

REDDY, B. S. Prevention of colon cancer by pre - and probiotics: evidence from laboratory studies. *British Journal of Nutrition*, v.80, supl.2, p.219-223, 1998.

REDDY, B. S. Possible mechanisms by which pro and prebiotics influence colon carcinogenesis and tumor growth. *Journal of Nutrition*, v.129, p.1478-1482, 1999.

RUTHERFORD, P. P.; WHITTLE, R. The carbohydrate composition of onions during long term cold storage. *J. Hortic. Sci.*, v.57, p.349-356, 1982.

ROBERFROID, M. B. The biochemistry of oligofructose, a nondigestible fiber: na approach to calculate its caloric value. *Nutrition Reviews*, v.51, n.5, p.137-146, 1993.

ROBERFROID, M. B. Alimentos funcionais: o caso dos pró e prebióticos. In: Seminário da Nestlé Nutrition, China, Anais Vevey, Suíça, Nestlé Nutrition Services, 1998.

ROBINSON, R. K. The potential of inulin as a functional ingredient. *British Food Journal*. Bradford, v.97, n.4, p.30-32, 1995.

SANDERS, M. E. Probiotics: considerations for human health. *Nutr. Rev.*, New York, v.61, n.3, p.91-99, 2003.

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

SHARMA, S. K., MULVANEY, S. J., RIZVI, S. S. H. Food processing engineering: theory and laboratory experiments. United States of America: Wiley-Interscience, p.348, 2000.

SHAW, D. J. Introdução à química de colóides e de superfícies. Trad. de MAAR, J. H., São Paulo: Edgard Blucher/Edusp, 1975.

SKELLAND, A. H. Asymptotic rates of heat or mass transfer in non-newtonian laminar flow. *Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals*, v.6, p.148, 1967.

SILVA, R. F. Use of inulin as a natural texture modifier. *Cereal Foods World*. St. Paul., v.41, n.10, p.792-795, 1996.

SIMONOVSKA, B. Determination of inulin in foods. *J. AOAC Int.*, v.83, n.3, p.675-678, 2000.

SOARES, R. M. D.; VIEIRA, E. L.; FRANCISCO, A.; SÁ, R. M. Fibras Alimentares: Histórico, classificação e efeitos fisiológicos. In: Simpósio Sul - Brasileiro de Alimentação e Nutrição: História e Arte, Anais. Florianópolis: Departamento de Nutrição, 2000.

SUZUKI, M.; CUTCLIFE, J. A. Fructan in onion bulbs in relation to storage life. *Can. J. Plant Sci.*, v.69, p.1327-1333, 1989.

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

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

TAPER, H. S.; ROBERFROID, M. B. Influence of inulin and oligofructose on breast cancer and tumor growth. *Journal of Nutrition*, v.129, p.1488-1489, 1999.

TONELI, J. T. C. L.; PARK, K. J.; RAMALHO, J. R. P.; MURR, F. E. X.; FABBRO, M. D. Rheological characterization of chicory root (*Cichorium Intybus L.*) inulin solution. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, v.25, p.461-471, 2008.

TONELI, J. T. C. L.; PARK, K. J.; MURR, F. E. X.; NEGREIROS, A. A. Effect of moisture on the microstructure of inulin powder. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, p.122-131, 2008.

TORRES, E. A. F. S. Alimentos em questão: uma abordagem técnica para as dúvidas mais comuns, São Paulo: Ponto Crítico, 2001.

USHIJIMA, H. H. Oligossacarídeos e suas Propriedades Funcionais, *Revista Latínios*, v.6, n.34, 2001.

VAN DEN HEUVEL, E. G. H. M.; SCHAAFSMA, G.; MUYS, T.; VAN DOKKUM, W. Nondigestible oligosaccharides do not interfere with calcium and nonheme iron absorption in young, health men. *American Journal of Clinical Nutrition*, v.67, p.445-451, 1998.

VAN DEN HEUVEL, E. G. H. M.; MUYS, T.; VAN DOKKUM, W.; SCHAAFSMA, G. Oligofructose stimulates calcium absorption in adolescents. *American Journal of Clinical Nutrition*, v.69, p.544-548, 1999.

VAN LOO, J. On the presence of inulin and oligofructose as natural ingredients in the western diet. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v.35, n.6, p.525-552, 1995.

VAN LOO, J.; CUMMINGS, J.; DELZENNE, N.; ENGLYST, H.; FRANCK, A.; HOPKINS, M.; KOK, N.; Mc FARLANE, G.; NEWTON, D.; QUIGLEY, M.; ROBERFROID, M.; VAN VLIET, T.; VAN DEN HEUVEL, E. Functional food properties of non-digestible oligosaccharides: a consensus report from the ENDO project (DGXII AIRII – CT94-1094). *British Journal of Nutrition*, v.81, p.121-132, 1998.

VAN REE, L. Nieuws rond de teel van groenten. B. Industriegroenten – 5: waar staan we net de teelt van schorseneer. *Landbouwtijdschrift*, v.3, p.2361-2364, 1982.

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

VORAGEN, A. G. J. Technological aspects of functional food-related carbohydrates. *Trends Food Sci. & Techn.*, v.9, p.328-335, 1998.

WANG, S. S.; FAQIH, M. N.; KIM, Y. Factors affecting gel formation of inulin. *Carbohydrate Polymers*, v.46, p.135-145, 2001.

ZIMERI, J. E.; KOKINI, J. L. Rheological properties of inulin-waxy maize starch systems. *Carbohydrate Polymers*, v.52, n.1, p.67-85, 2003.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)