

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor,
o texto completo desta tese será
disponibilizado somente a partir
de 31/01/2021



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Câmpus de São José do Rio Preto

Víctor Justiniano Huamaní Meléndez

Comportamento reológico da goma Tara
(*Caesalpinia spinosa*) e formação de géis em
combinação com a goma Xantana

São José do Rio Preto

2020

Víctor Justiniano Huamaní Meléndez

Comportamento reológico da goma Tara (*Caesalpinia spinosa*) e formação de géis em combinação com a goma Xantana

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia e Ciência de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de São José do Rio Preto.

Financiadora: CAPES

FAPESP–Proc. 2017/02808-6

Orientador: Prof^a Dr^a Maria Aparecida Mauro

Coorientador: Prof. Dr. Róger Darros Barbosa

São José do Rio Preto

2020

H874c

Huamaní-Meléndez, Víctor Justiniano

Comportamento reológico da goma Tara (*Caesalpinia spinosa*) e formação de géis em combinação com a goma Xantana / Víctor Justiniano

Huamaní-Meléndez. -- São José do Rio Preto, 2020

153 f. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto

Orientadora: Maria Aparecida Mauro

Coorientador: Róger Darros Barbosa

1. Tecnologia de alimentos. 2. Reologia. 3. Matéria - Propriedades. 4. Partição de fases. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Víctor Justiniano Huamaní Meléndez

Comportamento reológico da goma Tara (*Caesalpinia spinosa*) e formação de géis em combinação com a goma Xantana

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia e Ciência de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de São José do Rio Preto.

Financiadora: CAPES

FAPESP–Proc. 2017/02808-6

Comissão Examinadora

Prof^a. Dr^a. Maria Aparecida Mauro
UNESP–Câmpus de São José do Rio Preto
Orientadora

Prof^a. Dr^a. Vânia Regina Nicoletti
UNESP–Câmpus de São José do Rio Preto

Prof. Dr. Carlos Raimundo Ferreira Grosso
UTFPR–Câmpus Londrina

Prof^a. Dr^a. Kivia Mislaine Albano
UFSCar–Câmpus Lagoa do Sino

Prof. Dr. Paulo Henrique Mariano Marfil
Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM)

São José do Rio Preto

31 de janeiro de 2020

Este trabalho é dedicado à minha mãe Catalina, à minha esposa Rosangela e ao meu filho Efraim que, com muito amor e carinho, não mediram esforços para que pudesse concluir esta etapa de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Em especial, aos meus orientadores Prof. Dr. Róger Darrós Barbosa e Prof. Dra. Maria Aparecida Mauro, pela orientação segura e fiel, pela preocupação com o meu trabalho, pelas sugestões e por todo o aprendizado nestes anos. Em especial por ser pessoas com elevada qualidade humana.

Aos professores da pós-graduação, por todos os ensinamentos e por contribuírem com a minha formação e crescimento profissional.

Aos professores membros da banca examinadora que aceitaram o convite para avaliarem este trabalho e, pelas valiosas sugestões para o seu aperfeiçoamento.

Às colegas de laboratório, Liliane, Ana Maria, Ana Paula, Laís, Letícia, Maria Mariana, pelos conselhos, paciência e companheirismo.

À Prof. Dra. Vânia Regina Nicoletti por disponibilizar o seu laboratório e equipamentos para realizar as determinações reológicas e, pelo aceite em conformar a banca.

À Prof. Dra. Poliana Moser e Prof. Dra. Aline Lima, pela disponibilidade e sugestões em meu exame de qualificação.

Ao Prof. Dr. João Ruggiero Neto pelos ensinamentos e, disponibilidade de materiais para determinações das propriedades polieletrólíticas da goma Tara.

À Augusto Pumacahua por ter me ajudado na obtenção de amostras de Tara para pesquisa.

Ao Dr. Fábio Rogério de Moraes pela ajuda nas análises no equipamento de Ressonância Magnética Nuclear e as orientações para a interpretação dos resultados.

Ao Prof. Dr. Maurício Boscolo e à Daniela Lisboa por disponibilizar o seu espectrômetro de infravermelho.

Às empresas GlobalFood, Silvateam Peru S.A.C. e G&A Agroproducts S.A.C. pela doação de amostras de goma Tara.

Aos colegas do Laboratório de Medidas Físicas, Yuri e João Vitor pela ajuda com o uso do reômetro.

Aos técnicos de laboratório: Luiz, Alana, e Tânia que sempre se mostraram solícitos

a ajudar na materialização desta pesquisa.

E aos colegas do departamento pela amizade e apoio.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, sob o processo no 88882.195683/2018-01, à qual agradeço, pela concessão de bolsa de estudos.

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo auxílio financeiro à pesquisa, sob o processo nº 2017/02808-6.

RESUMO

Os polissacarídeos são empregados na indústria de alimentos pela capacidade de modificar as propriedades reológicas, estabilizar emulsões ou partículas suspensas ou como gelificante. Dentre eles encontra-se a goma Tara (TG), obtida das sementes da Tara (*Caesalpinia spinosa*), ainda pouco usada na indústria de alimentos, principalmente devido ao pouco conhecimento sobre as suas propriedades funcionais, e escassez de pesquisas sobre as interações com outros polímeros e compostos. Os objetivos da pesquisa foram compreender melhor a estrutura da goma Tara, propriedades reológicas, interações moleculares em solução aquosa, em mistura com proteínas do leite e ainda sobre a formação de géis em mistura com a goma Xantana (XG), visando aplicações como o desenvolvimento de novas texturas e formulação de produtos alimentícios, cosméticos ou farmacêuticos. Foi utilizada a TG comercial de três origens diferentes, as quais foram purificadas por precipitação com isopropanol e avaliadas suas propriedades físico-químicas, reológicas e aspectos estruturais das galactomananas. Para a avaliação estrutural e composição monossacarídea foram usadas técnicas de Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FT-IR) e Ressonância Magnética Nuclear (RMN). As propriedades físico-químicas foram obtidas a partir da viscosidade intrínseca determinada por viscosimetria capilar e as propriedades reológicas foram determinadas mediante viscosímetro rotacional. A estabilidade de misturas aquosas de TG com caseinato de sódio (NaCas) e concentrado proteico de soro de leite (WPC), assim como o comportamento reológico foram avaliados usando a metodologia de superfície de resposta, tomando como fatores as concentrações de NaCas, WPC e TG. As variáveis resposta foram a viscosidade a taxa de deformação nula (η_0) e o tempo de relaxação (λ). Os géis formados com a mistura aquosa de TG e XG foram avaliados, especialmente quanto às suas propriedades mecânicas. A composição monossacarídea das galactomananas de TG resultou ser dependente da origem, apresentando relação manose:galactose de 1,54–1,85. A viscosidade intrínseca da TG foi influenciada pelo efeito combinado de pH-temperatura e a adição de sal. Em concentrações diluídas apresentou comportamento dilatante e em regimes semidiluído e concentrado mostrou-se pseudoplástico (viscoelástico), verificando-se predomínio do componente viscoso nas baixas frequências. As soluções de TG e proteínas do leite apresentaram condição metaestável pelo aumento na viscosidade, variando os mecanismos de estabilização para as soluções de TG-NaCas e TG-WPC. Apresentaram comportamento pseudoplástico, observando-se interação entre a TG e as proteínas estudadas, expressa pelo aumento da η_0 e λ na maior concentração de goma. Encontrou-se também sinergismo positivo na mistura de TG e XG, com aumento significativo do caráter sólido do gel e o incremento na força do gel formado.

Palavras-chaves: reologia, géis, proteínas do leite, equilíbrio de fases, galactomananas.

Abstract

Polysaccharides are used in the food industry due to their ability to modify rheological properties, stabilize emulsions or suspended particles or as a gelling agent, including Tara gum (TG) obtained from Tara seeds (*Caesalpinia spinosa*), which has limited use in the food industry, mainly due to restricted knowledge about their functional properties, and few research on the interactions with other polymers and compounds. The aim of this study is to gain understanding of Tara gum structure, rheological properties, molecular interactions in aqueous solution, in mixture with milk proteins and the formation of gels with Xanthan gum (XG), aiming at applications such as the development of new textures and new formulations for food beverage, cosmetic or pharmaceutical products. Commercial TG from three different sources were purified by precipitation with isopropanol and evaluated in their physicochemical, rheological and structural aspects of galactomannans. For the structural evaluation and monosaccharide composition, Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) and Nuclear Magnetic Resonance (NMR) techniques were used. The physicochemical properties were calculated from the intrinsic viscosity determined by capillary viscosimetry and the rheological properties were determined by rotational viscosimetry. The stability of aqueous mixtures of TG with sodium caseinate (NaCas) and whey protein concentrate (WPC), as well the rheological behavior, was evaluated using the response surface methodology, considering NaCas, WPC and TG concentrations as factors. Response variables were zero shear viscosity (η_0) and relaxation time (λ). The intrinsic viscosity of TG was influenced by the combined effect of pH-temperature and the addition of salt. In diluted concentrations it showed shear thickening behavior and in semi-diluted and concentrated regimes it showed pseudoplastic with viscoelastic behavior, with the predominance of the viscous component at low frequencies. The TG and milk protein solutions presented metastable condition due to the increase in viscosity, varying the stabilization mechanisms for the TG-NaCas and TG-WPC solutions. The polymer mixtures showed pseudoplastic behavior, showing interaction between TG and the proteins studied, expressed by the increase of η_0 and λ in the highest gum concentration. Positive synergism was also found in the mixture of TG and XG, with a significant increase in the solid character of the gel and an increase in the strength of the formed gel.

Keywords: rheology, gels, milk proteins, phase equilibrium, galactomannans.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Estrutura da galactomanana de Tara.	25
Figura 1.2 – Estrutura da goma Xantana.	26
Figura 1.3 – Gráficos da viscosidade intrínseca (a) baseado na viscosidade reduzida (b) baseado na viscosidade inerente.	27
Figura 1.4 – Alguns modelos que descrevem o comportamento não Newtoniano. . .	31
Figura 1.5 – Representação da tensão e a deformação de materiais em testes dinâmicos.	33
Figura 1.6 – Principais categorias de espectros mecânicos em alimentos de baixo teor de sólidos: (a) solução diluída, (b) solução enovelada, (c) gel forte, e (d) gel fraco.	34
Figura 1.7 – Relações das cadeias de polímeros em solução nos diferentes regimes de concentração. (a) solução diluída (b) transição e (c) semi-diluído. . . .	35
Figura 1.8 – Viscosidade específica a taxa de deformação nula (η_{sp0}) versus adimen- sional da concentração $c[\eta]_0$, onde $[\eta]_0$ é a viscosidade intrínseca à taxa de deformação nula.	36
Figura 1.9 – Diagrama pseudo-ternário de fases para mistura de polissacarídeo-proteína- água a) incompatibilidade termodinâmica (segregação) b) coacervação complexa (associação).	39
Figura 1.10–Diagrama de fases retangular para mistura de polissacarídeo-proteína- água.	40
Figura 2.1 – Espectro do comportamento mecânico da goma Tara em solução aquosa com concentração de 1% (m/v).	50
Figura 2.2 – Viscosímetro capilar Cannon-Fenske.	54
Figura 2.3 – Configurações geométricas usadas para a caracterização viscoelástica (a) geometria de cilindros concêntricos (b) geometria de cone e placa. . .	56
Figura 2.4 – Imagens da (a) goma Tara bruta em pó e (b) precipitado da goma purificada.	57
Figura 2.5 – Espectro do infravermelho da goma Tara de três diferentes origens:(a) goma purificada, (b) goma bruta.	58
Figura 2.6 – Espectro de RMN da goma Tara de três diferentes origens purificadas a 80 °C: (a) TG-Exandal; (b) TG-Huánuco e; (c) TG-Ayacucho.	60

Figura 2.7 – Densidade relativa da goma Tara sob influência da temperatura e a concentração	62
Figura 2.8 – Volume específico parcial da solução aquosa de goma Tara em função da temperatura	62
Figura 2.9 – Influência da temperatura na viscosidade intrínseca determinada pelo método de Huggins.	66
Figura 2.10 – Concentração crítica a 25 °C da TG-Huánuco em solução aquosa	67
Figura 2.11 – Viscosidade intrínseca da TG-Huánuco sob influência do pH com e sem tratamento térmico	68
Figura 2.12 – Aproximação ao modelo reológico Herschel-Bulkley para as soluções de TG-Huánuco a baixa concentração determinado a 25 °C	69
Figura 2.13 – Variação do coeficiente de consistência frente à concentração em soluções de goma Tara determinado a 25 °C	70
Figura 2.14 – Aproximação ao modelo de Cross das soluções semidiluídas e concentradas de TG-Huánuco a 25 °C, para diversas concentrações	71
Figura 2.15 – Curva mestra do comportamento das soluções concentradas de TG-Huánuco à 25 °C, para diversas concentrações	72
Figura 2.16 – Correlação de η_0 em função da concentração da TG-Huánuco a 25 °C .	72
Figura 2.17 – Viscosidade aparente em função da temperatura para a TG-Huánuco a 1% de concentração	74
Figura 2.18 – Superposição das curvas de viscosidade sob efeito da temperatura para a TG-Huánuco	75
Figura 2.19 – Espectro do módulo de armazenamento, G' na varredura de amplitude de deformação em diferentes concentrações de TG-Huánuco (frequência de 0,1 Hz).	76
Figura 2.20 – Espectros de G' , G'' e η^* para diferentes concentrações de TG-Huánuco.	77
Figura 2.21 – Comportamento do tempo de relaxação de soluções de TG-Huánuco a diferentes concentrações	78
Figura 2.22 – Influência da temperatura nos espectros mecânicos de soluções de TG-Huánuco para concentração de 1,0 g dL ⁻¹ (a) módulo de armazenamento G' (b) módulo de dissipação G'' e (c) viscosidade complexa η^* .	79
Figura 2.23 – Comportamento do tempo de relaxação da solução de TG-Huánuco 1% m/m a diferentes temperaturas	80
Figura 2.24 – Influência da adição de sal na viscosidade aparente (a) NaCl (b) CaCl ₂ .	81
Figura 3.1 – Construção do diagrama de fases da mistura de NaCas e goma Tara em solução aquosa (a) Fração mássica do sedimentado (b) Diagrama de fases.	94
Figura 3.2 – Diagrama de fases retangular para mistura de goma Tara-WPC.	96

Figura 3.3 – Espectros mecânicos dinâmicos do sedimentado TG-WPC (a) G' , G'' e $\tan(\delta)$ (b) ensaio de deformação a 1 Hz.	97
Figura 3.4 – Comportamento reológico das principais proteínas do leite (a) Caseinato de Sódio, NaCas (b) Concentrado proteico de soro de leite, WPC.	98
Figura 3.5 – Propriedades reológicas em função da temperatura da solução 10% de NaCas (a) viscosidade aparente (b) Propriedades mecânicas, G' , G'' e η^*	99
Figura 3.6 – Propriedades reológicas em função da temperatura da solução 10% de WPC (a) viscosidade aparente (b) espectro mecânico dinâmico.	100
Figura 3.7 – Viscosidade aparente em função da taxa de deformação das misturas de TG-Proteína do leite. (a) NaCas-TG (b) WPC-TG.	101
Figura 3.8 – Superfície de resposta para a η_0 sob influência da concentração de: (a) NaCas-TG (b) WPC-TG.	103
Figura 3.9 – Superfície de resposta para a λ sob influência da concentração de: (a) NaCas-TG (b) WPC-TG.	105
Figura 4.1 – Comportamento reológico de soluções aquosas de goma Xantana em diferentes concentrações a 25 °C (a) tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação (b) viscosidade aparente em função da taxa de deformação.	115
Figura 4.2 – Espectro mecânico das soluções de goma Xantana (a) 0,2% (b) 0,4% (c) 0,6% (d) 0,8%	117
Figura 4.3 – Espectro mecânico dinâmico da solução de goma Xantana 1% de concentração a 25 °C.	118
Figura 4.4 – Representações da força do gel a 1 Hz para soluções aquosas de goma Xantana a 25 °C (a) dependência da deformação do módulo reduzido ($\frac{G'}{G_0}$) (b) dependência do limite de deformação e do valor G_0 da concentração de goma.	118
Figura 4.5 – Superfície de resposta para o comportamento sólido em baixa frequência (CSBF) das misturas de goma Tara e goma Xantana a 25 °C e 1 Hz	121
Figura 4.6 – Comportamento sólido em baixa frequência (CSBF) das misturas de gomas Tara e Xantana, mantendo a concentração de sólidos totais em 1% (m/m) a 25 °C.	122
Figura 4.7 – Superfície de resposta em função da concentração de goma Tara e goma Xantana para (a) limite de deformação (b) platô G_0	123
Figura 4.8 – Limite de deformação (a) e G_0 (b) em função da concentração das gomas Xantana e Tara.	124
Figura 4.9 – Limite de deformação e G_0 em função da concentração das gomas Xantana e Tara, mantendo a concentração de sólidos totais em 1% (m/m).	125

Figura A.1 – Espectro de RMN da TG-Exandal purificada a: (a) 40 °C; (b) 60 °C; (c) 80 °C.	135
Figura A.2 – Espectro de RMN da TG-Huánuco purificada a: (a) 40 °C; (b) 60 °C; (c) 80 °C.	136
Figura A.3 – Espectro de RMN da TG-Ayacucho purificada a: (a) 40 °C; (b) 60 °C; (c) 80 °C.	137
Figura B.1 – Grafico de Huggins e Kraemer para a TG-Exandal determinados a tem- peraturas de: (a) 5 °C; (b) 10 °C; (c) 15 °C; (d) 20 °C; (e) 25 °C; e, (f) 30 °C.	139
Figura B.2 – Grafico de Huggins e Kraemer para a TG-Huánuco determinados a temperaturas de: (a) 5 °C; (b) 10 °C; (c) 15 °C; (d) 20 °C; (e) 25 °C; e, (f) 30 °C.	140
Figura B.3 – Grafico de Huggins e Kraemer para a TG-Ayacucho determinados a temperaturas de: (a) 5 °C; (b) 10 °C; (c) 15 °C; (d) 20 °C; (e) 25 °C; e, (f) 30 °C.	141
Figura B.4 – Grafico de Huggins e Kraemer a 25 °C para a goma tara bruta: (a) TG-Exandal; (b) TG-Huánuco; (c) TG-Ayacucho;	142
Figura E.1 – Espectro mecânico das misturas de goma tara com proteínas do leite .	149
Figura F.1 – Dependência do $\tan(\delta)$ da mistura de gomas xantana e tara, segundo planejamento experimental	151
Figura F.2 – Espectro mecânico para as soluções com mistura de gomas xantana e tara, mantendo a concentração de sólidos totais em 1% (m/m).	152
Figura F.3 – Gráfico do módulo reduzido em função da deformação para solução com mistura de gomas xantana e tara, segundo planejamento experimental .	153
Figura F.4 – Gráfico do módulo reduzido em função da deformação para solução com mistura de gomas xantana e tara, mantendo a concentração de sólidos totais em 1% (m/m).	153

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Parâmetros de Huggins e Kramer para a TG-Exandal a diferentes temperaturas.	63
Tabela 2.2 – Parâmetros de Huggins e Kramer para a TG-Huánuco a diferentes temperaturas.	64
Tabela 2.3 – Parâmetros de Huggins e Kramer para a TG-Ayacucho a diferentes temperaturas.	64
Tabela 2.4 – Parâmetros físico-químicos a 25 °C da goma Tara de três diferentes origens (média \pm DP).	65
Tabela 2.5 – Parâmetros da equação de Boltzmann para a viscosidade intrínseca da goma Tara de três diferentes origens (média \pm DP)	67
Tabela 2.6 – Efeito do pH na viscosidade intrínseca com e sem tratamento térmico .	68
Tabela 2.7 – Parâmetros do modelo Herschel-Bulkley para soluções diluídas de TG-Huánuco a 25 °C	70
Tabela 2.8 – Parâmetros do modelo de Cross para diferentes concentrações de TG-Huánuco a 25 °C	73
Tabela 2.9 – Parâmetros da Equação de Arrhenius para a TG-Huánuco sob efeito da temperatura	74
Tabela 2.10–Influência da concentração de TG-Huánuco nas propriedades mecânicas da solução	78
Tabela 2.11–Influência da temperatura nas propriedades mecânicas da solução de TG-Huánuco.	80
Tabela 2.12–Parâmetros do modelo de Cross para a adição de NaCl a 25 °C na solução aquosa de TG-Huánuco 0,5% m/m.	82
Tabela 2.13–Parâmetros do modelo de Cross para a adição de CaCl ₂ a 25 °C na solução aquosa de TG-Huánuco 0,5% m/m.	82
Tabela 3.1 – Parâmetros do modelo Herschel-Bulkley para dispersões de NaCas e WPC, determinados a 25 °C	98
Tabela 3.2 – Parâmetros reológicos da mistura de goma Tara com proteínas do leite a 25 °C.	102
Tabela 3.3 – Resultados da Análise de Variância da η_0 sob influência das concentrações de TG e proteínas do leite ($\alpha = 0,05$).	102

Tabela 3.4 – Análise de Variância do λ sob influência das concentrações de TG e NaCas ($\alpha = 0,05$).	104
Tabela 3.5 – Coeficientes de ajuste dos parâmetros do modelo polinomial de segunda ordem para as misturas de goma Tara e proteínas do leite.	105
Tabela 4.1 – Parâmetros do modelo Herschel-Bulkley para soluções aquosas de goma Xantana a 25 °C.	115
Tabela 4.2 – Parâmetros do modelo de Carreau-Yasuda para a solução de goma Xantana a 25 °C.	116
Tabela 4.3 – Dados experimentais da dependência da deformação no módulo reduzido e no valor de G_0 a 25 °C.	120
Tabela 4.4 – Análise de variância do CSBF sob influência das concentrações de goma Tara e goma Xantana ($\alpha = 0,05$).	120
Tabela 4.5 – Análise de variância do valor limite de deformação sob influência das concentrações de gomas Tara e Xantana ($\alpha = 0,05$).	123
Tabela 4.6 – Resultados da Análise de Variância para G_0 sob influência das concentrações de gomas Tara e Xantana ($\alpha = 0,05$).	124
Tabela C.1 – Parâmetros fisico-químicos da goma tara TG-Exandal, em função à temperatura	143
Tabela C.2 – Parâmetros fisico-químicos da goma tara TG-Huánuco, em função à temperatura	144
Tabela C.3 – Parâmetros fisico-químicos da goma tara TG-Ayacucho, em função à temperatura	144
Tabela D.1 – Misturas nas diferentes concentrações de TG e NaCas	146
Tabela E.1 – Parâmetros do modelo de Cross para a mistura aquosa de TG-NaCas medido a 25 °C	147
Tabela E.2 – Parâmetros do modelo de Cross para a mistura aquosa de TG-WPC medido a 25 °C	148
Tabela E.3 – Tempo de relaxação e o módulo G da mistura aquosa da TG e NaCas determinados a 25 °C	148
Tabela E.4 – Tempo de relaxação e o módulo G determinados a 25 °C para a mistura TG-WPC.	150

LISTA DE SÍMBOLOS

Siglas e abreviaturas

C-Y	Equação de Carreau-Yasuda
CG-FID	Cromatografia gasosa - Detector por Ionização de Chama
COSY	CORrelated SpectroscopY
CSBF	Comportamento sólido a baixa frequência
Gal	Galactose
HSQC	Heteronuclear Single-Quantum Correlation
LVR	Região de viscoelasticidade linear
M-H-S	Mark-Houwink-Sakurada
Man	Manose
NaCas	Caseinato de sódio
RMN	Ressonância Magnética Nuclear
WPC	Concentrado proteico de soro de leite

Letras romanas

a	Expoente da equação de M-H-S	adimensional
a_c	Parâmetro da Equação de Carreau-Yasuda	adimensional
c	Concentração	g dL^{-1}
c^*	Concentração crítica	g dL^{-1}
d	Parâmetro da Eq. 4.3	adimensional
D_0	Coefficiente de difusão a concentração zero	$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$
E_a	Energia de ativação	J mol^{-1}

g	Aceleração da gravidade	$9,8 \text{ m s}^{-2}$
$\frac{G'}{G_0}$	Módulo reduzido	adimensional
$\left(\frac{G'}{G_0}\right)_{\gamma \rightarrow 0}$	Módulo reduzido a deformação nula	adimensional
$\left(\frac{G'}{G_0}\right)_{\gamma \rightarrow \infty}$	Módulo reduzido a deformação infinita	adimensional
G'	Módulo elástico ou de armazenamento	Pa
G''	Módulo viscoso ou de dissipação	Pa
G_0	Valor de G' no platô em baixa deformação	Pa
G_{mix}	Energia livre da mistura	J
h	Expoente da Equação de Hill	adimensional
H_{mix}	Entalpia da mistura	J
I	Força iônica	M
K	Coefficiente da equação de M-H-S	g dL^{-1}
k	Coefficiente de consistência	Pa s^n
k'	Coefficiente de Huggins	adimensional
k''	Coefficiente de Kraemer	adimensional
k_B	Constante de Boltzmann	$1,3806 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$
k_v	Constante do viscosímetro capilar	$\text{m}^2 \text{ s}^{-2}$
L	Longitude do capilar	m
l	Altura do fluido	m
M	Massa molar	g mol^{-1}
m	Expoente da Equação de Cross	adimensional
\bar{M}_v	Massa molar viscosimétrica média	g mol^{-1}
m_c	Parâmetro da Equação de Carreau-Yasuda	adimensional
M_w	Massa molar média do polímero	g mol^{-1}
N	Número de moles	mol
n	Índice de comportamento	adimensional

N_A	Número de Avogadro	$6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
n_a, n_b	Número de mols das espécies a e b	mol
R	Constante universal dos gases	$8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
r	Parâmetro da Eq. 4.3	adimensional
R_c	Raio do capilar	m
$\langle R_G \rangle$	Raio de giro	cm
R_H	Raio hidrodinâmico	nm
S	Coefficiente angular Eq. 1.18	u.a.
S_{mix}	Entropia da mistura	J K^{-1}
T	Temperatura	K ou $^{\circ}\text{C}$
t	Tempo	s
t_0	Tempo em que a água percorre as duas marcas no viscosímetro Eq. 1.5	s
V	Volume úmido	cm^3
v	Velocidade linear	m s^{-1}
\bar{v}	Volume específico parcial	$\text{cm}^3 \text{ g}^{-1}$
V_s	Volume específico inchado	dL g^{-1}
w	Constante de Equação de Hill	g dL^{-1}

Letras gregas

α	Constante de tempo de Cross	s
α_c	Constante de tempo dimensional Eq.4.1	s
χ_{ab}	Coefficiente de interação Flory-Huggins	u.a.
δ	Constante de hidratação	adimensional
η	Viscosidade	Pa s
$[\eta]$	Viscosidade intrínseca	dL g^{-1}
$[\eta]_0$	Viscosidade intrínseca a taxa de deformação nula	dL g^{-1}
$[\eta]_{\infty}$	Viscosidade intrínseca a força iônica infinita	dL g^{-1}

η^*	Viscosidade complexa	Pa s
η_0	Viscosidade a taxa de deformação nula	Pa s
η_∞	Viscosidade a taxa de deformação infinita	Pa s
η_a	Viscosidade aparente	Pa s
η_r	Viscosidade relativa	adimensional
η_s	Viscosidade Newtoniana ou viscosidade do solvente	Pa s
η_{inh}	Viscosidade inerente	dL g ⁻¹
η_{red}	Viscosidade reduzida	dL g ⁻¹
η_{ref}	Viscosidade de referência	Pa s
η_{sp0}	Viscosidade específica a taxa de deformação nula	Pa s
η_{sp}	Viscosidade específica	adimensional
γ	Deformação	adimensional
$\dot{\gamma}$	Taxa de deformação	s ⁻¹
κ	Relação das unidades de galactose e manose Eq. 1.9	adimensional
λ	Tempo de relaxação	s
λ_0	Tempo máximo de relaxação	s
ν	Fator de forma molecular ou incremento da viscosidade	adimensional
ω	Frequência angular	rad s ⁻¹
ω_0	Frequência no ponto de inflexão Eq. 4.3	s ⁻¹
Φ	Constante de Flory-Fox	2,86 · 10 ²³ mol ⁻¹
ρ	Densidade da solução	g cm ⁻³
ρ_0	Densidade do solvente (água)	g cm ⁻³
τ	Tensão de cisalhamento	Pa
τ_0	Tensão inicial	Pa
φ_a, φ_b	Frações molares do solvente e o soluto, respectivamente	adimensional
T_r	Temperatura de referência	K

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	21
OBJETIVOS DA PESQUISA	23
1 REVISÃO DE LITERATURA	24
1.1 Gomas alimentares	24
1.1.1 Goma Tara	24
1.1.2 Goma Xantana	25
1.1.3 Interação entre gomas	26
1.2 Reologia de gomas em solução aquosa	27
1.2.1 Viscosidade intrínseca de polímeros diluídos	27
1.2.2 Caracterização reológica de fluidos	31
1.2.3 Influência da concentração nas propriedades reológicas de gomas em solução	33
1.2.4 Efeito da força iônica e pH nas propriedades reológicas de soluções aquosas de polissacarídeos	35
1.3 Proteínas do leite bovino	35
1.3.1 Caseinato de sódio	36
1.3.2 Proteínas de soro do leite bovino	37
1.4 Fatores que influenciam a interação de polissacarídeos e proteínas	38
1.5 Diagramas de fases para sistemas proteína-polissacarídeo-água	38
1.6 Termodinâmica do sistema proteína-polissacarídeo-água	39
Referências	42
2 CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL, FÍSICO-QUÍMICA E REOLÓGICA DA GOMA TARA EM SOLUÇÃO AQUOSA	49
2.1 Introdução	49
2.2 Objetivos	51
2.2.1 Objetivo Geral	51
2.2.2 Objetivos Específicos	51
2.3 Materiais e Métodos	52
2.3.1 Matéria prima	52
2.3.2 Purificação da goma Tara	52
2.3.3 Preparo de soluções aquosas de goma Tara	53

2.3.4	Espectroscopia de Absorção na região do Infra Vermelho (IR)	53
2.3.5	Determinação da composição monossacarídea da goma Tara	53
2.3.6	Viscosidade intrínseca da goma Tara em solução aquosa	54
2.3.7	Propriedades reológicas dinâmicas de materiais viscoelásticos	55
2.3.8	Delineamento Experimental	56
2.4	Resultados e discussão	57
2.4.1	Purificação da goma Tara	57
2.4.2	Espectroscopia e composição monossacarídica da goma Tara	57
2.4.3	Propriedades macromoleculares da goma Tara em solução aquosa	61
2.4.4	Comportamento reológico da goma Tara em solução aquosa	68
2.4.5	Conclusões	82
	Referências	84
3	COMPORTAMENTO DAS SOLUÇÕES AQUOSAS DE GOMA TARA E PROTEÍNAS DO LEITE	89
3.1	Introdução	89
3.2	Objetivos	90
3.2.1	Objetivo Geral	90
3.2.2	Objetivos Específicos	91
3.3	Materiais e Métodos	91
3.3.1	Matérias primas	91
3.3.2	Preparo de soluções de caseinato de sódio (NaCas) e concentrado proteico de soro de leite bovino (WPC)	91
3.3.3	Construção do diagrama de fases	91
3.3.4	Análise do comportamento reológico da mistura	92
3.3.5	Delineamento Experimental	93
3.4	Resultados e discussão	93
3.4.1	Equilíbrio de fases na solução aquosa da goma Tara com proteínas do leite	93
3.4.2	Propriedades reológicas das principais proteínas do leite	97
3.4.3	Comportamento reológico da mistura de proteínas do leite com goma Tara	100
3.4.4	Conclusões	104
	Referências	107
4	INTERAÇÕES ENTRE A GOMA TARA E GOMA XANTANA	111
4.1	Introdução	111
4.2	Objetivos	112
4.2.1	Objetivo Geral	112

4.2.2	Objetivos Específicos	112
4.3	Materiais e Métodos	112
4.3.1	Matérias primas	112
4.3.2	Preparo da mistura aquosa goma Xantana-goma Tara	113
4.3.3	Análise do comportamento reológico da mistura	113
4.3.4	Delineamento Experimental	114
4.4	Resultados e discussão	114
4.4.1	Comportamento reológico das soluções de goma Xantana . . .	114
4.4.2	Comportamento reológico das misturas de goma Xantana e goma Tara	119
4.4.3	Conclusões	125
	Referências	127
	CONCLUSÕES GERAIS	130
	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	132
	APÊNDICES	133
APÊNDICE A	ESPECTROS DE RESONÂNCIA MAGNÉTICA NUCLEAR (RMN) PARA A GOMA TARA . .	134
APÊNDICE B	GRÁFICOS DE HUGGINS E KRAEMER DA GOMA TARA A DIFERENTES TEMPERA- TURAS	138
APÊNDICE C	PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA GOMA TARA EM SOLUÇÃO AQUOSA	143
APÊNDICE D	DADOS PARA A CONSTRUÇÃO DO DIA- GRAMA DE FASES TG-NACAS	145
APÊNDICE E	COMPILAÇÃO DE DADOS REOLÓGICOS DA MISTURA DE GOMA TARA COM AS PRO- TEÍNAS DO LEITE	147
APÊNDICE F	GRÁFICOS DE COMPORTAMENTO REOLÓ- GICO DAS MISTURAS DE GOMAS TARA E XANTANA	151

Introdução geral

Uma grande parcela dos produtos processados pela indústria de alimentos possui na sua composição polissacarídeos que são empregados para modificar características reológicas, estabilizar emulsões óleo-em-água ou água-em-óleo, estabilizar partículas em suspensão ou para formar gel.

Um desses polissacarídeos, ainda pouco usado na indústria de alimentos, é obtido a partir das sementes da Tara (*Caesalpinia spinosa*), conhecida comercialmente como goma Tara. Embora apresente interessantes qualidades para o processamento de alimentos, este polissacarídeo tem sido pouco usado, principalmente devido à pouca demanda, o que se atribui fundamentalmente ao pouco conhecimento que se tem sobre suas propriedades funcionais e suas interações com outros polímeros e constituintes presentes nos produtos alimentícios ou adicionados com propósitos nutricionais, tecnológicos ou sensoriais.

Neste contexto, outro biopolímero presente em muitos sistemas alimentares é a proteína, que contribui com a estrutura, textura e estabilidade dos produtos alimentares, por meio das suas funções como espessante, gelificante e capacidade de modificar a tensão superficial ou propriedades reológicas, sendo as proteínas do leite (caseína e proteínas do soro do leite) profundamente usadas pela indústria de alimentos.

As transformações do leite líquido, ao ser processado para obter produtos como iogurte, queijo e sobremesas de leite, são influenciadas pelas propriedades funcionais da caseína. Do mesmo modo, as propriedades funcionais das proteínas do soro do leite apresentam interesse para a indústria de alimentos, principalmente devido à sua capacidade de formar agregados, de gelificar e de sofrer separação de fases, levando à necessidade de conhecer seu comportamento em presença das galactomananas da goma Tara, bem como efeitos sinérgicos ou antagônicos, e desta maneira, aproveitar melhor essas interações otimizando ou inovando produtos e processos.

Por outro lado, a goma Xantana é um polissacarídeo de origem microbiana que apresenta grande interesse por parte da indústria de alimentos devido à sua estabilidade numa ampla faixa de pH e temperatura, além da sua resistência ao congelamento/descongelamento, resistência à altas taxas de deformação e formação de géis. A goma Xantana usada na indústria também em combinação com outros polissacarídeos, conseqüentemente, há muito interesse em se conhecer essas interações com as galactoma-

nanas da goma Tara.

O objetivo principal desta pesquisa foi obter uma melhor compreensão sobre a estrutura, propriedades reológicas, interações moleculares de soluções aquosas das galactomananas da goma Tara, das misturas aquosas de galactomanana de Tara–proteínas do leite bem como das misturas goma Xantana-galactomanana de Tara, visando obter resultados que possam ser utilizados para o desenvolvimento de novas texturas usando a goma Tara na formulação de produtos alimentares, cosméticos ou farmacêuticos, contribuindo assim na valorização desse biopolímero, e propiciando o crescimento da pesquisa sobre essa goma.

O corpo da tese está dividido em quatro capítulos:

No Capítulo 1 se desenvolve a revisão da literatura científica relevante sobre os assuntos investigados nesta pesquisa.

O Capítulo 2 descreve o estudo das propriedades fisicoquímicas e reológicas das soluções aquosas de goma Tara buscando explicar as transformações do sistema, sob o ponto de vista das inter-relações moleculares galactomanana-água. Para este fim, a goma Tara comercial foi purificada para evitar a ação de outras moléculas presentes na goma comercial.

O Capítulo 3 descreve as relações do sistema aquoso galactomanana de Tara com as proteínas de leite (caseinato de sódio e proteínas do soro de leite), avaliando possíveis mecanismos de interação, que conferem ao sistema propriedades reológicas que podem ser aproveitadas no desenvolvimento de texturas e estabilidade em produtos alimentícios.

O Capítulo 4 está centrado na caracterização da mistura aquosa entre a goma Xantana e a goma Tara sob o ponto de vista reológico, procurando explicar as relações intermoleculares entre esses polímeros.

São considerados como fatores: a variação das concentrações dos polímeros (goma Tara, goma Xantana e proteínas do leite), presença de sais (adição de NaCl), variação de pH e temperatura. Como variáveis resposta são investigados a viscosidade intrínseca, viscosidades críticas, estabilidade dos sistemas (cinética ou termodinâmica) e as propriedades reológicas sob regime estacionário e dinâmico.

Referências

BIRD, R. B.; ARMSTRONG, R. C.; HASSAGER, O. **Dynamics of Polymeric Liquids**. 2. ed. York: Wiley-Interscience, 1987. v. 1. ISBN 9780471802457. Citado na p. 113.

BRESOLIN, T. M. B.; MILAS, M. *et al.* Xanthan-galactomannan interactions as related to xanthan conformations. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 23, n. 4, p. 263–275, 1998. ISSN 0141–8130. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0141-8130\(98\)00061-0](https://doi.org/10.1016/S0141-8130(98)00061-0). Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813098000610>. Citado na p. 119.

BRESOLIN, T. M. B.; SANDER, P. *et al.* Viscometric studies on xanthan and galactomannan systems. **Carbohydrate Polymers**, v. 33, n. 2, p. 131–138, 1997. ISSN 0144–8617. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(97\)00051-9](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(97)00051-9). Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861797000519>. Citado nas pp. 119, 125.

CHOPPE, E. *et al.* Rheology of xanthan solutions as a function of temperature, concentration and ionic strength. **Carbohydrate Polymers**, v. 82, n. 4, p. 1228–1235, 2010. ISSN 0144–8617. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.06.056>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861710005266>. Citado na p. 116.

CLARK, A. H.; ROSS-MURPHY, S. B. Structural and mechanical properties of biopolymer gels. *in*: BIOPOLYMERS. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1987. p. 57–192. ISBN 978-3-540-47827-0. DOI: <https://doi.org/10.1007/BFb0023332>. Citado nas pp. 114, 122.

CLOITRE, M.; BONNECAZE, R. T. A review on wall slip in high solid dispersions. **Rheologica Acta**, v. 56, n. 3, p. 283–305, mar. 2017. ISSN 1435–1528. DOI: [10.1007/s00397-017-1002-7](https://doi.org/10.1007/s00397-017-1002-7). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00397-017-1002-7>. Citado na p. 113.

DEA, I. C. M.; MCKINNON, A.; REES, D. Tertiary and quaternary structure in aqueous polysaccharide systems which model cell wall cohesion: Reversible changes in conformation and association of agarose, carrageenan and galactomannans. **Journal of Molecular Biology**, v. 68, n. 1, p. 153–172, 1972. ISSN 0022–2836. DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-2836\(72\)90270-7](https://doi.org/10.1016/0022-2836(72)90270-7). Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0022283672902707>. Citado na p. 111.

DEA, I. C. M.; MORRIS, E. R. *et al.* Associations of like and unlike polysaccharides: Mechanism and specificity in galactomannans, interacting bacterial polysaccharides, and

related systems. **Carbohydrate Research**, v. 57, p. 249–272, 1977. ISSN 0008-6215. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0008-6215\(00\)81935-7](https://doi.org/10.1016/S0008-6215(00)81935-7). Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008621500819357>. Citado nas pp. 111, 112.

GAGNON, D. A.; KEIM, N. C.; ARRATIA, P. E. Undulatory swimming in shear-thinning fluids: experiments with *Caenorhabditis elegans*. **Journal of Fluid Mechanics**, Cambridge University Press, v. 758, r3, 2014. DOI: 10.1017/jfm.2014.539. Citado na p. 116.

HAASE, A. S. *et al.* Inelastic non-Newtonian flow over heterogeneously slippery surfaces. **Phys. Rev. E**, American Physical Society, v. 95, p. 023105, 2 fev. 2017. DOI: 10.1103/PhysRevE.95.023105. Disponível em: <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevE.95.023105>. Citado na p. 116.

MORRIS, E. R.; FOSTER, T. Role of conformation in synergistic interactions of xanthan. **Carbohydrate Polymers**, v. 23, n. 2, p. 133–135, 1994. ISSN 0144-8617. DOI: [https://doi.org/10.1016/0144-8617\(94\)90038-8](https://doi.org/10.1016/0144-8617(94)90038-8). Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0144861794900388>. Citado na p. 111.

MORRIS, V. J. Bacterial Polysaccharides. *in*: STEPHEN, A. M.; PHILLIPS, G. O.; WILLIAMS, P. A. (eds.). **Food Polysaccharides and Their Applications**. Boca Raton, FL: CRC Press, mai. 2006. cap. 12, p. 413–454. ISBN 978-1-4200-1516-4. Citado nas pp. 111, 115.

MORRIS, V. J. Weak and Strong Polysaccharide Gels. *in*: DICKINSON, E. (ed.). **Food Polymers, Gels and Colloids**. Sawston, Cambridge: Woodhead Publishing, 1991. cap. 25, p. 310–321. ISBN 9781855737877. DOI: <https://doi.org/10.1533/9781845698331.310>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781855737877500288>. Citado na p. 112.

RINAUDO, M. Relation between the molecular structure of some polysaccharides and original properties in sol and gel states. **Food Hydrocolloids**, v. 15, n. 4, p. 433–440, 2001. 5th International Hydrocolloids Conference. ISSN 0268-005X. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(01\)00041-8](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(01)00041-8). Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X01000418>. Citado na p. 111.

SAHA, D.; BHATTACHARYA, S. Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: A critical review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 47, n. 6, p. 587–597, 2010. ISSN 00221155. DOI: 10.1007/s13197-010-0162-6. Citado na p. 112.

STEFFE, J. F. **Rheological Methods in Food Process Engineering**. East Lansing, MI: Freeman Press, 1996. ISBN 0-9632036-1-4. Citado na p. 117.

TAKO, M. Synergistic interaction between xanthan and tara-bean gum. **Carbohydrate Polymers**, v. 16, n. 3, p. 239–252, 1991. ISSN 0144-8617. DOI: [https://doi.org/10.1016/0144-8617\(91\)90111-0](https://doi.org/10.1016/0144-8617(91)90111-0). Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0144861791901110>. Citado nas pp. 111, 112.

WU, Y.; DING, W.; HE, Q. The gelation properties of tara gum blended with κ -carrageenan or xanthan. **Food Hydrocolloids**, v. 77, p. 764–771, 2018. ISSN 0268-005X.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.11.018>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X17312304>. Citado nas pp. 119, 121, 122.

ZATZ, J. L.; KNAPP, S. Viscosity of Xanthan Gum Solutions at Low Shear Rates. **Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 73, n. 4, p. 468–471, 1984. ISSN 0022-3549. DOI: <https://doi.org/10.1002/jps.2600730410>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022354915460617>. Citado nas pp. 115, 116.

ZHONG, L. *et al.* Rheological behavior of xanthan gum solution related to shear thinning fluid delivery for subsurface remediation. **Journal of Hazardous Materials**, v. 244–245, p. 160–170, 2013. ISSN 0304–3894. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.11.028>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389412011193>. Citado na p. 115.

Conclusões gerais

A composição monossacárida da goma Tara é influenciada pela sua origem, e o processo de purificação com isopropanol não modifica a estrutura da cadeia da galactomanana, apresentando razões Man/Gal de 1,85–1,54.

A viscosidade intrínseca das soluções aquosas de goma Tara foi influenciada pela origem e temperatura, comportamento correlacionado pelo modelo sigmoidal (equação de Boltzmann), onde as viscosidades intrínsecas mais altas são encontradas em temperaturas mais baixas.

A ação do ácido na viscosidade intrínseca das soluções aquosas de goma Tara foi desprezível na faixa pH 2–7, no entanto, a ação combinada da temperatura–ácido resultou numa hidrólise em $\text{pH} \leq 4$.

Identificaram-se as regiões de concentração diluída, semi-diluída e concentrada ($c^* = 0,112 \text{ dL g}^{-1}$ e $c^{**} = 0,455 \text{ dL g}^{-1}$). Concentrações diluídas apresentam comportamento dilatante, com aumento exponencial no coeficiente de consistência com a concentração. As concentrações semi-diluídas e concentradas foram modeladas pela equação de Cross (comportamento pseudoplástico), em que a viscosidade a taxa de deformação nula, η_0 , aumenta exponencialmente com o aumento da concentração de goma, apresentando Energia de Ativação dependente do regime (semi-diluído ou concentrado). A adição de sal influenciou na redução de η_0 , sendo que o CaCl_2 apresentou maior diminuição em baixas concentrações, comparado com o NaCl .

As soluções de goma Tara exibem comportamento viscoelástico, com predomínio do componente viscoso em baixas frequências, até o ponto de cruzamento, com o tempo de relaxação aumentando com o aumento da concentração de goma. Não houve gelificação por ação da temperatura, mantendo a predominância do componente viscoso em baixas frequências. No entanto, houve redução do tempo de relaxação com o aumento da temperatura, comportamento que não foi acompanhado pelo módulo G , que permaneceu quase constante com a temperatura.

A mistura de goma Tara e caseinato de sódio em solução aquosa apresentou sedimentação pelo mecanismo de depleção até as concentrações de goma Tara e NaCas de 0,28% e 0,74%, respectivamente, acima das quais foi estabilizada pelo aumento da

viscosidade da solução provocado pelo aumento na concentração de goma.

A mistura de goma Tara e concentrado proteico de soro de leite apresentou precipitação da proteína nas viscosidades inferiores a 4 Pa s e concentração de 0,5% de goma Tara, em toda a faixa de concentrações de WPC (1–5% m/m).

Nas concentrações estudadas, o comportamento reológico do NaCas resultou ser quase Newtoniano, enquanto as soluções de WPC apresentaram comportamento dilatante. As mistura aquosas de goma Tara com as proteínas do leite, não modificaram o comportamento pseudoplástico das soluções de goma Tara, no entanto, houve aumento na viscosidade à taxa de deformação nula, tanto para o NaCas como para o WPC. O tempo de relaxação apresentou comportamento similar, resultando ser maior nas altas concentrações de goma Tara e proteína do leite.

A goma Xantana em solução aquosa apresentou comportamento pseudoplástico, com η_0 apresentando aumento exponencial. A partir de 0,4% de concentração, apresentou comportamento de gel fraco, aumentando a força do gel linearmente com a concentração.

As misturas de gomas Xantana e Tara em solução aquosa, apresentaram sinergismo positivo nas variáveis estudadas, com formação de gel em baixas concentrações de goma Xantana. O comportamento sólido a baixa frequência apresentou valor máximo nas concentrações intermediárias de gomas Xantana e Tara. O módulo elástico no platô à baixa deformação, G_0 , apresentou aumento linear com a concentração de goma Tara, mantendo constante a concentração total de sólidos, confirmando o efeito sinérgico, onde tanto o caráter sólido como a força do gel são beneficiados pela adição de galactomananas de Tara.

De maneira geral, o presente estudo disponibiliza inúmeros dados relacionados à goma Tara, que permitirão ajustar propriedades reológicas a aplicações desejadas, abrindo novas possibilidades à indústria de alimentos e farmacêutica, aproveitando a capacidade de formar soluções de mediana e alta viscosidade, melhorando a palatabilidade e sensação de preenchimento (*mouthfeel*). Pode ser usada em produtos de pH baixo como bebidas à base de fruta, produtos fermentados e cerveja, entre outros. Também tem aplicação como estabilizante em molhos, em sopas e produtos derivados do leite. Em combinação com a goma Xantana, podem-se aproveitar as texturas de gel formadas para desenvolvimento de produtos com baixo teor de gordura.