

Análise experimental do comportamento reológico e estrutural de soluções macromoleculares junto ao processo de concentração por micro-filtração tangencial

Viviane Miceli Silva Queiroz

Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP. Av. do Trabalhador São-carlense, 400, C.P. 359
13566-590 – São Carlos – São Paulo – Brasil
Telefone: (17) 3521.5789 – e-mail: vimiceli@bol.com.br

Sérgio Rodrigues Fontes

Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP. Av. do Trabalhador São-carlense, 400, C.P. 359
13566-590 – São Carlos – São Paulo – Brasil
Telefone: (16) 3373.9531 – e-mail: srf@sc.usp.br

Resumo: Neste trabalho foi investigado experimentalmente o comportamento reológico e estrutural de misturas em suspensão de goma Xantana e Guar, sujeita ao processo de concentração por micro-filtração tangencial. Utilizou-se no processo uma membrana tubular cerâmica com tamanho nominal de poro de 0,4 μm . Para as soluções processadas, as curvas de tensão de cisalhamento (τ) em função da taxa de deformação ($\dot{\gamma}$), foram analisadas e ajustadas com o modelo Lei de Potência. Nas curvas reológicas são evidenciados os efeitos de sinergia compreendidos nas misturas elaboradas puras e em diferentes proporções na concentração final de 1000 ppm. A reologia das misturas foi investigada com um reômetro de cilindros concêntricos em duas temperaturas diferentes, à 25°C e à 40°C, no início e no fim de cada experimento. As amostras do processo foram também analisadas com a técnica de absorvância e análise espectral por infravermelho. A grande maioria das misturas apresentaram valores do índice de comportamento (n) menores que um, caracterizando-as como fluido não-Newtoniano (pseudo-plástico), e constatando também via análise de absorvância a boa sinergia entre os polissacrídeos e sem ocorrências de modificação de estrutura.

Palavras-chave: Reologia, micro-filtração, goma Xantana, goma Guar, sinergia.

1. Introdução

A viscosidade, que quantifica a resistência de uma massa fluida ao escoamento, é uma propriedade física comumente utilizada na caracterização de fluidos. Dependendo do comportamento do fluido sob determinada força de cisalhamento, a matéria pode ser caracterizado como Newtoniano ou não-Newtoniano. Os Newtonianos, pseudo-plásticos, Bingham, Herschel-Bulkley e dilatantes, são independentes do tempo, já os fluidos tixotrópicos e reopéticos são dependentes do tempo.

Em fluidos Newtonianos, em que a tensão de cisalhamento é diretamente proporcional à taxa de deformação, a viscosidade é constante e a medida de uma tensão é suficiente para caracterizar o sistema, sendo independente da taxa de deformação.

Entretanto a maioria dos fluidos complexos como os alimentícios são não-Newtonianos, em que a viscosidade não é constante, mas é dependente da taxa de deformação. Fluidos não-Newtonianos são freqüentemente encontrados em vários processos industriais, por exemplo, clarificação e concentração de sucos de frutas por micro e ultra-filtração, separação de microorganismos e purificação da produção de polissacarídeos e outras misturas (Zeman e Zydney, 1996).

Em fluidos não-Newtonianos, os colóides são de maior importância e as propriedades relevantes que determinam seu comportamento reológico são: a forma da partícula, seu tamanho, sua flexibilidade e fácil deformação, sua solubilidade pela fase contínua, presença e magnitude de suas cargas elétricas. O comportamento não-Newtonianos ocorre apenas quando as cadeias dos polímeros são longas o suficiente para emaranhar. A efetividade deste emaranhamento decresce com o aumento da taxa de deformação. Um fluido pseudo-plástico escoar mais facilmente quando é agitado e mostra um decréscimo da viscosidade com o aumento da taxa de deformação. A diminuição da viscosidade é resultado do alinhamento molecular que ocorre dentro de algumas substâncias.

O comportamento pseudo-plástico é muito comum na maioria dos fluidos não-Newtonianos, principalmente em emulsões e gomas. As soluções de gomas são dispersões e/ou agregados de moléculas hidratadas e seu comportamento reológico também é função da flexibilidade da cadeia macromolecular, concentração do polímero, da temperatura e da taxa de deformação (Briscoe et. al., 1998).

A goma Xantana é um polieletrólito que possui propriedades reológicas únicas, tais como alta viscosidade a baixas concentrações e baixas taxas de deformações, além de possuir alta pseudo-plasticidade. Polieletrólitos são macromoléculas que contêm um grande número de grupos ionizáveis que dão comportamento reológico diferente dos biopolímeros neutros (Silva e Rao, 1992).

A viscosidade pode ser medida com reômetros que fornecem vários valores da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação, podendo-se avaliar o comportamento de um fluido e adotar um modelo de comportamento reológico. Os reômetros rotacionais de cilindros concêntricos mantêm uma velocidade de rotação constante a certa taxa de deformação e a tensão de cisalhamento é obtida através da medida do torque no cilindro de medida. Este tipo de reômetro é muito utilizado no campo dos hidrocolóides, obtendo-se a viscosidade aparente das gomas.

A indústria alimentícia vem cada vez mais tornando-se dependente da produção de alimentos altamente processados, ao invés de simplesmente preservar as matérias-primas obtidas no campo. Entre estes, destaca-se uma classe de polissacarídeos denominados hidrocolóides, ou gomas, como são comumente conhecidos, cuja característica mais importante, sob o ponto de vista tecnológico, é sua capacidade de determinar ou modificar a estrutura de fluidos. Misturas de gomas são utilizadas com a finalidade de obter propriedades funcionais adequadas e reduzir os custos. Por este motivo, uma análise cuidadosa da interação sinérgica polissacarídeo-polissacarídeo é relevante para melhor entender seu comportamento em seu manuseio e em diferentes processos (Ma e Barbosa-Cánovas, 1993).

As gomas de origem vegetal são obtidas de exsudados de árvores (gomas Arábica e Karaya), de sementes (gomas Guar e Locusta) e de frutas cítricas (Pectina), enquanto as de origem marinha são retiradas de algas (Alginato, Ágar, Carragenina). Entre as de origem microbiana encontram-se a Dextrana, Xantana, Curdlana e Gelana. Segundo Kovacs e Kang (1997), a goma Xantana é reativa com as gomas galactomananas, tais como a Guar e a Locusta. Esta compatibilidade com a goma Guar se manifesta em um aumento significativo da viscosidade, podendo em determinadas concentrações virar gel.

Esta mudança de estrutura com formação de gel pode inviabilizar processos de separação e/ou concentração como os de micro e ultra-filtração, que embora com grande potencial para remover partículas em suspensão, são sensivelmente governados por fenômenos físico-químicos de superfície e provocadores da formação da camada de polarização (cake layer). A “cake layer”, da literatura em inglês, está presente na redução da vazão trans-membrana no início do processo, em geral estabilizando a uma vazão permanente após os minutos iniciais do processo.

Este trabalho apresenta um estudo experimental da concentração de polissacarídeos por micro-filtração, para suspensões produzidas para baixa concentração (1000 ppm), em diferentes proporções entre as gomas Guar e Xantana. A investigação analisa ao longo do processo a possível mudança de comportamento reológico e estrutural das misturas dos polissacarídeos, respectivamente, com o uso de um reômetro de cilindros concêntricos e medições de absorvância na análise espectral por infravermelho.

2. Materiais e Métodos

A Figura 1 apresenta esquematicamente o equipamento experimental utilizado para análise do processo de concentração por micro-filtração. A unidade experimental confeccionada em aço inox é bastante versátil na geração de resultados para pressão trans-membrana entre 10^5 e 10^6 Pa e velocidade média de até 5 m/s em canais de diâmetro interno entre 5 e 8 mm. Os módulos de filtração utilizados foram do tipo membrana mono-canal, com área superficial em torno de $0,01 \text{ m}^2$ (indicado por “4” na Figura 1). O meio filtrante tubular selecionado foi de valor nominal de poro de $0,4 \mu\text{m}$. A mistura em processamento foi mantida em circulação a partir do tanque (1, Figura 1), através de uma bomba de deslocamento positivo (2, Figura 1). O concentrado que sai pelo módulo retorna ao tanque de armazenamento, enquanto é medida e analisada a vazão trans-membrana (permeado) (5, na Figura 1) em função do tempo.

A pressão trans-membrana medida por um manômetro na entrada do módulo foi variada nos experimentos pelo registro de pressão na saída do circuito hidráulico. Foram realizados experimentos do processo de concentração de soluções aquosas em mistura de diferentes proporções entre gomas Xantana e Guar. Os experimentos foram conduzidos em temperatura constante de $25 \pm 0,5^\circ \text{C}$ e de $40 \pm 0,5^\circ \text{C}$. O processo de concentração foi investigado através de medidas da vazão trans-membrana durante cerca de 60 minutos.

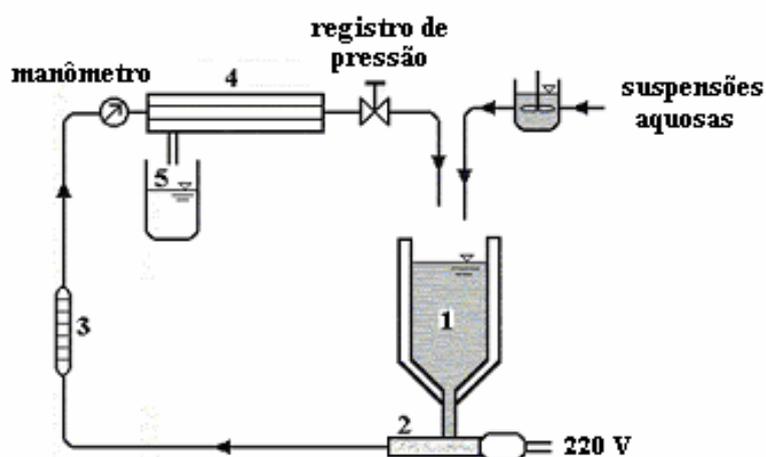


Figura 1. Figura esquemática do equipamento experimental. (1) tanque de fluido; (2) bomba de deslocamento positivo; (3) rotâmetro; (4) módulo com membrana cerâmica tubular; (5) saída de permeado.

O intervalo de velocidade média nos tubos foi correspondente ao regime de escoamento turbulento, com pressão transmembrana em torno de 3.10^5 Pa. Entre cada experimento, as membranas foram submetidas ao seguinte procedimento de limpeza: (i) 40 minutos em circulação com solução de detergente neutro a 2% de concentração; (ii) 12 horas em solução estática de detergente enzimático a 2% de concentração.

Utilizou-se como agentes no processo de micro-filtração misturas de gomas Xantana e Guar em suspensão aquosa. Misturas puras e em diferentes concentrações foram produzidas para analisar a sinergia e o comportamento reológico entre elas junto ao processo de concentração dos polissacarídeos.

As concentrações utilizadas foram: 100 ppm Xantana/900 ppm Guar, 900 ppm Xantana/100 ppm Guar, 250 ppm Xantana/750 ppm Guar, 750 ppm Xantana/250 ppm Guar, 500 ppm Xantana/500 ppm Guar, 1000 ppm Xantana e 1000 ppm Guar.

As misturas em suspensão de goma Xantana e Guar foram produzidas com água tratada de abastecimento a partir de agitação intensa num liquidificador, conduzindo a uma mistura homogênea em suspensão. Antes de submeter as suspensões ao processo de micro-filtração, realizou-se análises do comportamento reológico das misturas puras e proporcionais das gomas Xantana e Guar.

As medidas foram feitas em um reômetro de cilindros concêntricos da Brookfield, modelo DV-III+, com a finalidade de observar se a sinergia das misturas proporcionais modificava a estrutura da solução aquosa, ou seja, sua provável ocorrência de formação de gel (Kovacs, e Kang, 1997). Os experimentos foram conduzidos em duas temperaturas, 25°C e 40°C, por um banho termostatizado e circulante no recipiente da amostra. As curvas de tensão de cisalhamento (τ) em função da taxa de deformação ($\dot{\gamma}$), foram analisadas e ajustadas com o modelo de Lei de Potência.

3. Resultados e Discussão

Nas Figuras 2.a e 2.b são apresentados os resultados experimentais da vazão trans-membrana do permeado em $l/h.m^2$ (unidade comumente usada em estudos de filtração tangencial, Zeman e Zydney, 1996) em função do tempo (minutos), para experimentos realizados com misturas de gomas Xantana e Guar e para misturas puras, a uma temperatura de 25°C (Fig. 2.a) e 40°C (Fig 2.b) durante no mínimo 60 minutos de processo de micro-filtração. A membrana utilizada foi comercial importada tipo monocanal, com o tamanho nominal de poro igual a 0,4 μm . Em todos os experimentos, tem-se uma diminuição do fluxo, indicando assim uma queda de vazão devido à formação de camada de polarização durante o início do processo. Observa-se nos gráficos que o regime torna-se permanente após cerca de 30 minutos de operação.

Os maiores valores da vazão transmembrana são observados no processo com apenas goma Xantana (1000 ppm), enquanto os menores valores da vazão de permeado ocorrem com as misturas aquosas de apenas goma Guar (1000 ppm). A variação de temperatura não proporcionou um efeito significativo na vazão trans-membrana em todos os experimentos. Nas duas temperaturas o fluxo inicial trans-membrana para as mistura pura de goma Xantana foi cerca de 140 $l/h.m^2$. O fluxo final para as misturas puras de Xantana e proporcionais com concentrações predominantes de Xantana foi assintótico e abaixo de 20 $l/h.m^2$, já para as misturas puras de Guar e proporcionais com maior concentração desta goma, foi abaixo de 10 $l/h.m^2$, em ambas as temperaturas de processo.

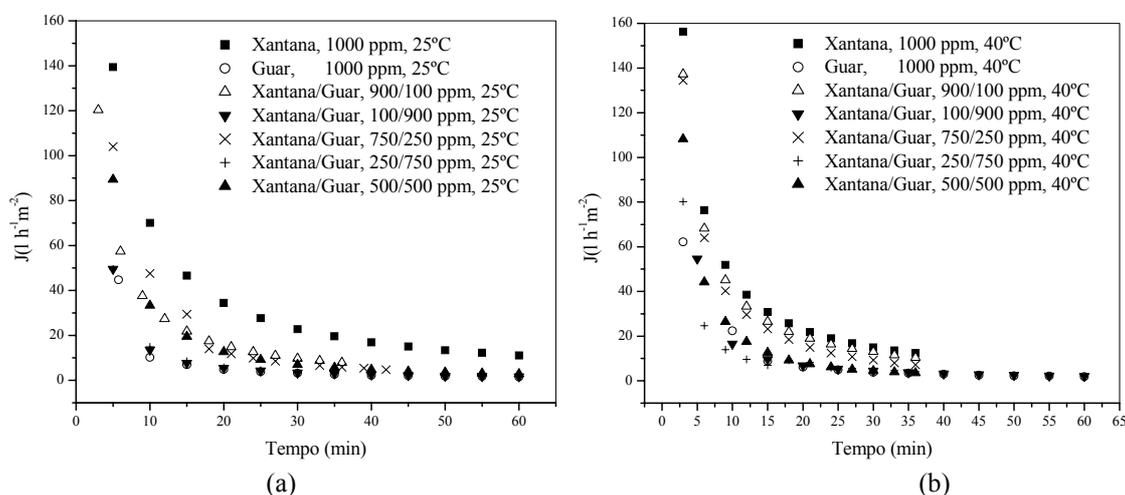


Figura 2. Vazão trans-membrana em função do tempo. (a) Temperatura do processo mantida a 25°C; (b) Temperatura do processo mantida a 40°C.

O comportamento reológico das misturas no processo de micro-filtração, cujos resultados são apresentados nas Figuras 3 e 4, foi investigado no início e no fim dos experimentos. As Figuras mostram respectivamente os gráficos da tensão de cisalhamento (τ) em função da taxa de deformação ($\dot{\gamma}$). Observa-se que a taxa de variação entre “ τ ” e “ $\dot{\gamma}$ ” aumenta com a presença de Xantana na mistura na temperatura de 40°C, fato que não ocorre na temperatura de 25°C. Observa-se ainda que a tensão de cisalhamento para as misturas no final do processo à 40°C são maiores. Na maioria das misturas do processo à 25°C teve comportamento diferente das misturas à 40°C, pois seus valores no início foram maiores do que no final do processo.

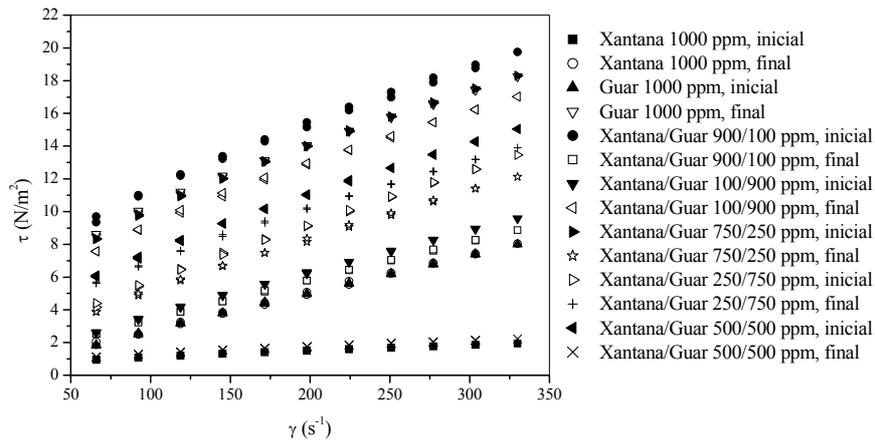


Figura 3. Comportamento reológico das misturas puras e proporcionais das gomas Xantana e Guar à 25°C no início e no fim de cada experimento de micro-filtração.

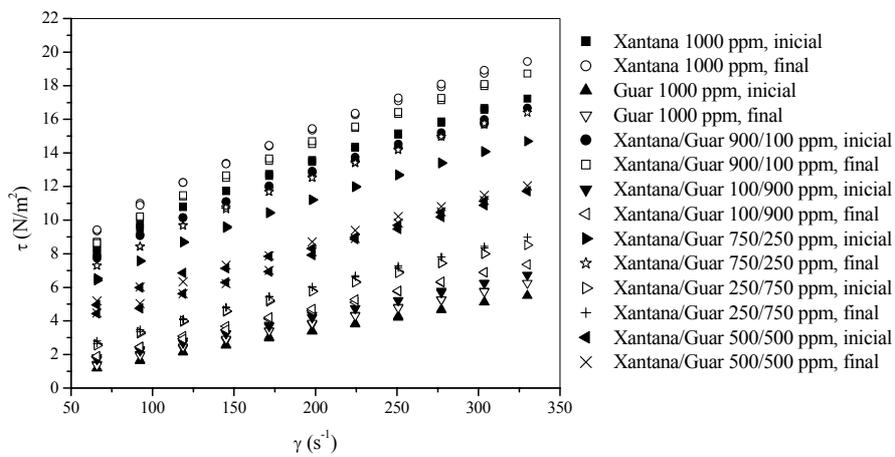


Figura 4. Comportamento reológico das misturas puras e proporcionais das gomas Xantana e Guar à 40°C no início e no fim de cada experimento de micro-filtração.

Para melhor caracterizar o comportamento reológico das soluções os valores referentes ao final do processo e apresentados nas Figuras 4 e 5 foram analisados para a forma adimensional respectivamente nas Figuras 5 e 6. As Figuras mostram respectivamente para o processo a 25 °C e 40 °C, os gráficos da viscosidade aparente adimensional em função da taxa de deformação (γ). A viscosidade aparente foi adimensionalizada pela viscosidade do fluido base, ou seja aquele que predomina em percentagem na solução. As linhas contínuas nos gráficos representam os resultados dos fluidos puros. No caso da mistura de igual proporção (500/500 ppm), a viscosidade aparente foi adimensionalizada para as duas suspensões (Guar e Xantana a 500 ppm).

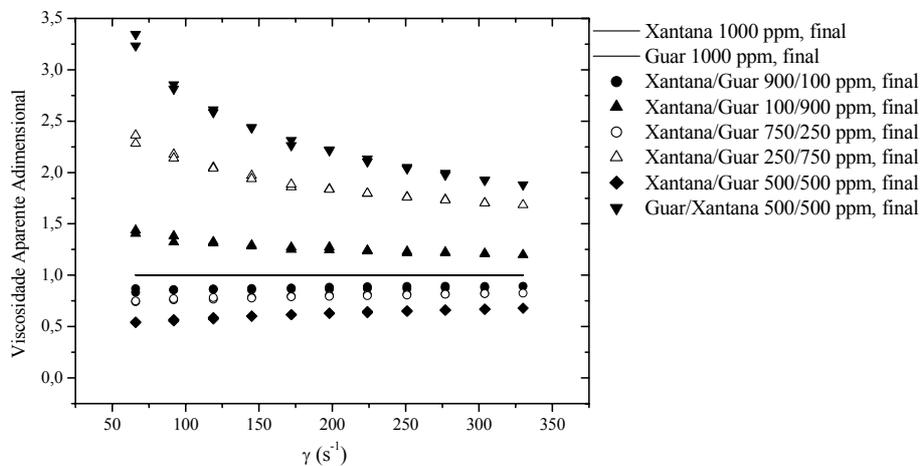


Figura 5. Gráfico da Viscosidade Aparente Adimensional em função da taxa de deformação (γ) para as misturas puras e proporcionais das gomas Xantana e Guar à 25°C no final de cada experimento de micro-filtração.

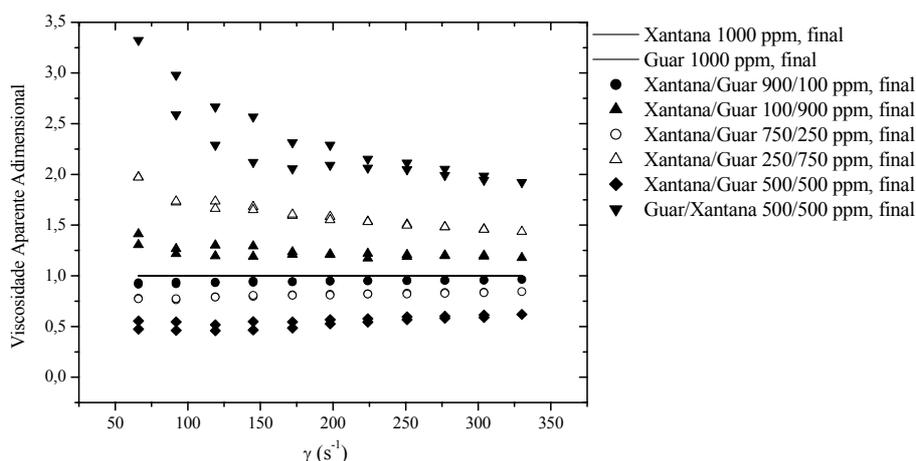


Figura 6. Gráfico da Viscosidade Aparente Adimensional em função da taxa de deformação (γ) para as misturas puras e proporcionais das gomas Xantana e Guar à 40°C no final de cada experimento de micro-filtração.

Os resultados nas Figuras 5 e 6 indicam que a presença de Xantana na mistura em menor quantidade que Guar produz as maiores variações na viscosidade. Também observa-se uma tendência ao comportamento linear (Newtoniano) para taxas de deformação maiores que 250 s^{-1} .

Para capturar um faixa Newtoniana a baixas taxas de cisalhamento seria necessário uma investigação particular para γ menor que 100 s^{-1} ; neste caso o intervalo de temperatura deverá requerer atenção especial pois verifica-se nos experimentos a 40°C uma tendência ao fenômeno de histerese. Ainda neste aspecto seria relevante a investigação da viscosidade extensional e da redução de arrasto associado à minimização de energia junto ao processo de micro-filtração, o que exigiria procedimentos específicos como os de Hermansky e Boger (apud Oliveira e Pinho, 1998).

Os resultados apresentados nas Figuras 3 e 4 também foram analisados e ajustados para o modelo de Lei de Potência. Os valores do índice de comportamento (n) e do índice de consistência (K) para as temperaturas de 25°C e 40°C são mostrados na Tabela 1. Todas as misturas apresentaram valores de $n < 1$, caracterizando comportamento não-Newtoniano e pseudo-plástico, reforçando a adequada sinergia entre as gomas. Observa-se ainda que a goma Xantana possui maior pseudo-plasticidade e valores mais constantes entre o concentrado inicial e o final do que a goma Guar. Este aspecto também é ilustrado na Fig. 7 através de um gráfico do índice de comportamento (n) em função da composição proporcional das misturas.

As baixas concentrações, como 1000 ppm, não proporcionaram a mudança da estruturas das gomas (formação de gel), produzindo misturas compatíveis com o comportamento reológico de seus componentes. Além disso observa-se na Fig. 7 que a variação do índice de comportamento “ n ” em função da temperatura é mais sensível com a predominância de goma Guar na mistura. Em geral, as diferentes condições de operação no processo realizado com a membrana monocanal com tamanho nominal de poro de $0,4 \mu\text{m}$ não promoveram variações significativas nos resultados do índice de comportamento.

Os resultados de “ n ” e “ k ” apresentados na Tabela 1 e Fig. 7 foram provenientes do ajuste gerado pelo programa Rheocalc V2.3 (acoplado ao reômetro utilizado). Os valores são de grande compatibilidade com o modelo de Lei de Potência, uma vez que apresentaram índices de confiança (R^2) superiores a 0,98.

Tabela 1: Propriedades reológicas das soluções puras e proporcionais de goma Xantana e Guar, nas temperaturas de 25 e 40°C , pressão de 300 kPa e velocidade de escoamento de $3,7 \text{ m.s}^{-1}$, para a membrana monocanal com tamanho nominal de poro de $0,4\mu\text{m}$:

Misturas	25°C				40°C			
	k (Pa.s ⁿ)		n		k (mPa.s ⁿ)		n	
	início	fim	início	fim	início	fim	início	fim
1000 ppm Guar	0,042	0,042	0,906	0,906	0,023	0,029	0,941	0,924
100 ppm Xantana e 900 ppm Guar	0,087	0,086	0,796	0,812	0,044	0,047	0,865	0,870
250 ppm Xantana e 750 ppm Guar	0,192	0,214	0,714	0,712	0,111	0,113	0,748	0,752
500 ppm Xantana e 500 ppm Guar	0,494	0,529	0,573	0,575	0,341	0,307	0,605	0,629
750 ppm Xantana e 250 ppm Guar	0,884	1,045	0,508	0,492	0,739	0,831	0,515	0,514
900 ppm Xantana e 100 ppm Guar	1,163	1,377	0,473	0,457	1,067	1,151	0,472	0,481
1000 ppm Xantana	0,143	0,183	0,447	0,429	1,201	1,387	0,459	0,456

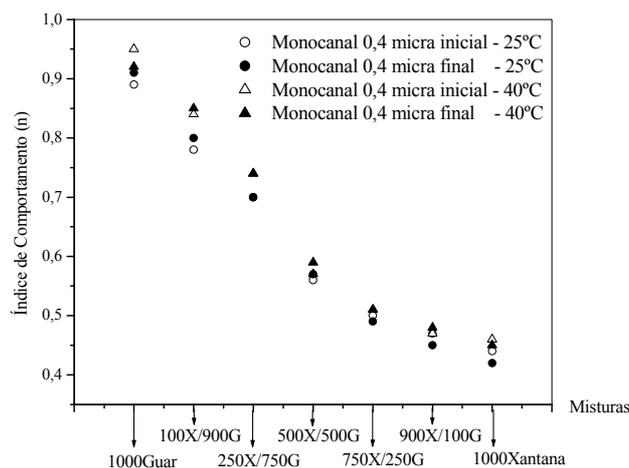


Figura 7. Gráfico do índice de comportamento em função da concentração para as duas temperaturas do processo.

Em todos os processos, o permeado e o concentrado também foram analisados a partir da análise espectral no infravermelho, com o objetivo de caracterizar a desestruturação da suspensão e a presença no filtrado do polissacarídeo processado. Os resultados são apresentados apenas para os processo com misturas puras, ou seja goma Xantana, 1000 ppm (Fig. 8.a) e goma Guar, 1000 ppm (Fig. 8.b). As Figuras 8 e 9 apresentam um gráfico típico de resposta da análise espectral por infravermelho para misturas puras de gomas Xantana e Guar.

De modo geral os espectros do infravermelho seguiram o padrão ilustrado nas Figuras 8 e 9. Para capacitar a identificação das estruturas foi consultada a literatura específica (Silverstein, 1979). Uma análise foi realizada com a técnica de absorvância no espectômetro de infravermelho com transformada de Fourier a partir do software específico do equipamento utilizado da marca Perkin Elmer e modelo Paragon 1000 (faixa: 400-4000 cm^{-1}). O permeado final, o concentrado inicial e o concentrado final foram analisados para verificar a passagem ou não das gomas pela membrana.

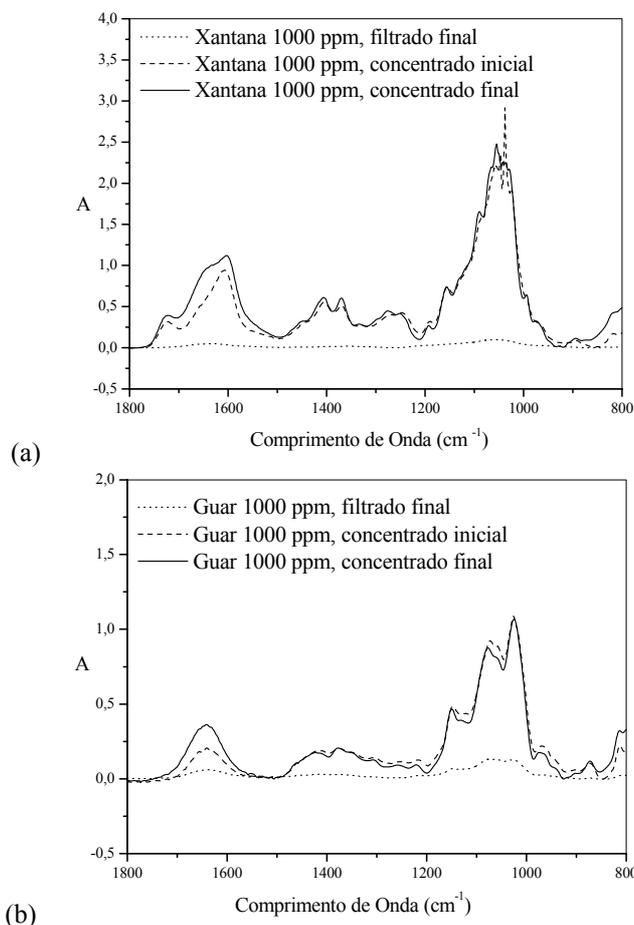


Figura 8. Resultados da análise do permeado pela técnica de infravermelho para experimentos realizados com membranas monocanal de 0,4 μm , $\Delta P_{\text{tm}} = 300 \text{ kPa}$, $u = 3,7 \text{ m/s}$ e $T = 25^\circ\text{C}$. (a) Xantana 1000 ppm; (b) Guar 1000 ppm.

A ocorrência dos espectros com intensidade predominante entre 1000 e 1200 cm^{-1} (região de absorção) se relaciona com a frequência de deformação axial das ligações. Na composição das suspensões estudadas neste trabalho, as ligações específicas de acordo com Silverstein (1979) são as seguintes:

- i) Tipo de ligação: C – C; C – O; C – N; Intervalo da Região de Absorção: 1300 a 800 cm^{-1} ;
- ii) Tipo de ligação: C = C; C = O; C = N; N = O; Intervalo da Região de Absorção: 1900 a 1500 cm^{-1} .

Como os resultados da absorvância (A, eixo da ordenada) são diretamente proporcionais à concentração, observa-se que o concentrado final na maioria dos casos foi menor que o concentrado inicial. Este resultado inesperado, para um processo de concentração, pode ser explicado pela desestruturação do polissacarídeo causada pelos efeitos de injúria no bombeamento da suspensão e ação da pressão no meio filtrante.

No entanto, a membrana com correspondente tamanho nominal de poro igual a 0,4 μm foi capaz de uma boa retenção dos polissacarídeos. A temperatura foi um parâmetro sensível, pois a retenção na maioria dos casos, foi maior na temperatura de 25°C e de modo independente da pressão e da velocidade média. Apesar da retenção, observa-se a presença de polissacarídeo, no permeado, como indica o “pico” entre o comprimento de onda de 1100 a 1000 cm^{-1} .

Uma análise qualitativa permite identificar a presença do polissacarídeo ou dissociações no filtrado. Para tal análise a Fig. 9 é apresentada para os espectros através da normalização das curvas para verificar se houve uma desestruturação das moléculas das gomas. A técnica utilizada foi a reflexão total atenuada (ATR) ou espectroscopia de reflexão interna que permite a obtenção de espectros qualitativos.

A análise qualitativa da Fig. 9 indica que o sinal referente ao filtrado final (linha pontilhada) é diferente em relação aos sinais de concentrado inicial e final. Pode-se observar que para o comprimento de onda de aproximadamente 1700 cm^{-1} , para goma Xantana (Fig. 9.a) a curva do filtrado não apresenta o grupo acetil, como nos demais sinais para o concentrado inicial (linha tracejada) e concentrado final (linha contínua). Este fato indica que houve uma dissociação do polissacarídeo pela membrana.

Pode-se observar também na Fig. 9.b que a goma Guar não possui este grupo acetil, dado compatível com sua estrutura molecular (Kovacs e Kang, 1997). O grupo acetato está diretamente relacionado com a viscosidade do meio, fato que explica a goma Xantana ser mais viscosa que a goma Guar e pelo filtrado nos dois casos possuir aparência e consistência de água limpa.

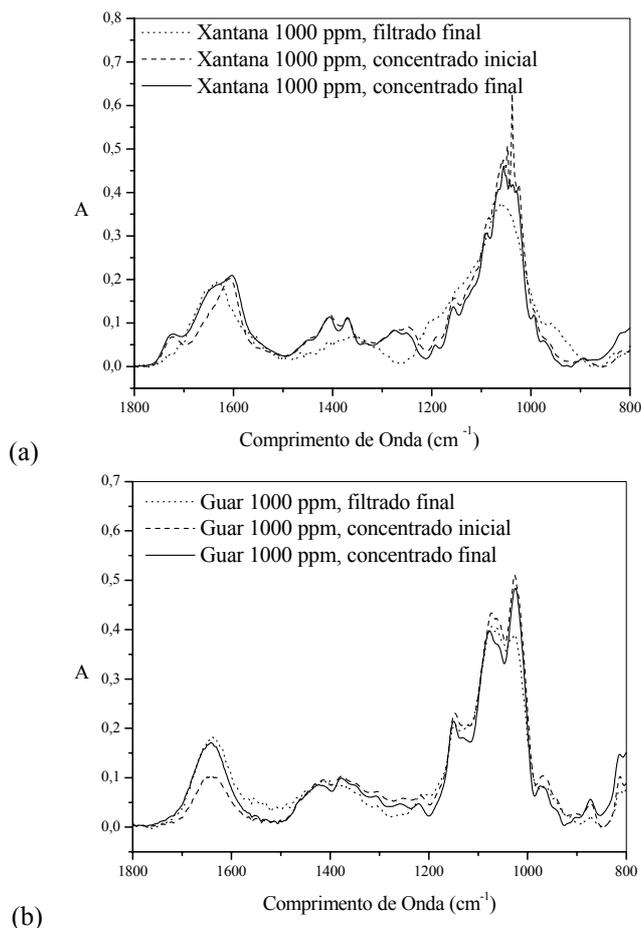


Figura 9. Resultados da análise do permeado pela técnica de infravermelho, na forma normalizada para experimentos realizados com membranas monocanal de 0,4 μm , a $\Delta P_{\text{tm}} = 300 \text{ kPa}$, $u = 3,7 \text{ m/s}$ e $T = 25^\circ\text{C}$. (a) Xantana 1000 ppm; (b) Guar 1000 ppm.

Em outros casos, semelhantes aos descritos na Fig. 9, os sinais seguiram o padrão da maior concentração, por exemplo, na mistura de 900 ppm Xantana e 100 ppm Guar, predominou o espectro da Xantana, na mistura de 100 ppm Xantana e 900 ppm Guar, predominou o de Guar. Na análise da mistura de 500 ppm/500 ppm, predominou a Xantana devido à presença do grupo acetil.

4. Conclusões

A partir desta investigação experimental, podemos concluir que: i) os efeitos de sinergia foram satisfatórios dentre as misturas proporcionais; ii) não observou-se mudanças estruturais ou formação de gel que seriam evidentes em variações significativas no comportamento da vazão transmembrana durante o processo; iii) não houve alterações de comportamento reológico; iv) as misturas puras e proporcionais apresentaram valores do índice de comportamento menores que um, caracterizando o fluido não-Newtoniano e pseudo-plástico; v) acredita-se que o processo de micro-filtração é viável na concentração dos polissacarídeos em mistura pelo menos até a concentração de 1000 ppm; vi) a partir da análise espectral por infravermelho não observa-se ocorrências significativas de efeitos de desestruturação.

5. Agradecimentos

A *Fapesp*, *CNPq* e a *CAPES* pela concessão de recursos financeiros. A Embrapa – CNPDIA pelo uso da instrumentação para medidas de infravermelho.

6. Bibliografia

- Briscoe, B., Luckhan, P. e Zhu, S. (1998). Rheological properties of poly (ethylene oxide) aqueous solutions. *Journal of Applied Polymer Science*, v.70, p. 419-429.
- Garcia-Ochoa, F., Santos, V. E., Casas, J. A., Gómez, E. Xanthan gum: production, and properties, *Biotechnology Advances*, 18 (2000) 549-579.
- Glicksman, M. (1982). Food applications of gums. In: *Food Carbohydrates*, ed. Linneback, D.R. & Inglett, G.E., AVI Publ., Westport, Connecticut, p. 270.
- Hélène, C. Study of hydrodynamic parameters in the cross-flow filtration of Guar gum pseudoplastic solutions, *J. Membrane Science*, 174 (2000) 135-145.
- Ilias, S., Schimmel, K.A., Assey, G.E.J.M., 1995, Effect of viscosity on membrane fluxes in cross-flow ultrafiltration, *Separation Science and Technology*, 30 (1995) 1669-1687.
- Kovacs, P., Kang, K.S. (1997). *Food Colloids*. Ed. Graham, H.D. The AVI Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut. p. 500-33.
- Ma, L., Barbosa-Cánovas, G.V. (1993). Review: rheological properties of food gums and food mixtures. *Revista Espanola de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, v.33, n.2, p.76-78.
- Oliveira, P. J. e Pinho, F.T. (1998). A qualitative assessment of the role of a viscosity depending on the third invariant of the rate-of-deformation tensor upon turbulent non-Newtonian flow, *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, vol. 78, p. 1-25.
- Silva, J. A. e Rao, M. A. (1992). Viscoelastic properties of food hydrocolloid dispersions. In: *Viscoelastic Properties of Food*, London/New York: eds. Rao, M. A. & Steffe, J. F. Elsevier Applied Science, p. 207-31.
- Silverstein, R. M. (1979). Identificação espectrométrica de compostos orgânicos. Rio de Janeiro: Guanabara Dois. 3ª. ed. p. 85-152.
- Szczesniak, A. S. (1986). Rheological basis for the selection. In: *Gums and Stabilisers for the Food Industry 3*, ed. Philips, G.O., Wedlock, D.J. & Williams, P.A., Elsevier Applied Science, London, p. 311.
- Zeman, L.J., Zydney, A.L., 1996. *Microfiltration and Ultrafiltration - Principles and Applications*, Marcel Dekker, New York.

Experimental Analysis of rheological behaviour in the cross-flow microfiltration of macromolecular solutions

Viviane Miceli Silva Queiroz

Engineering School of São Carlos – EESC/USP. Trabalhador São-carlense avenue, 400, C.P. 359

13566-590 – São Carlos – São Paulo – Brasil

Telephone number: (17) 3521.5789 – e-mail: vimiceli@bol.com.br

Sérgio Rodrigues Fontes

Engineering School of São Carlos – EESC/USP. Trabalhador São-carlense avenue, 400, C.P. 359

13566-590 – São Carlos – São Paulo – Brasil

Telephone number: (16) 3373.9531 – e-mail: srf@sc.usp.br

Abstract: This paper reports the rheological behaviour of mixtures in suspension by means of cross-flow micro-filtration with an inorganic tubular membrane with pore size of 0,4 μm . The curves of shear stress (τ) and shear rate ($\dot{\gamma}$) were fitted by the Power Law Model. The rheologic graph shows the synergism effects in pure and different mixture proportions, with 1000 ppm final concentration. The rheological behaviour of the mixtures was investigated in a rotational viscometers at two different temperatures, 25°C and 40°C, at the beginning and at the end of each experiment. All the mixtures showed flow behaviour index values (n) lower than the unit, characterizing non-Newtonian fluids (pseudo-plastic). The processes samples were also analyzed in a absorbency analysis in infrared spectrometer. The absorbency analysis show that there is good synergism between Xanthan and Guar gums without structure modifications (gel formation).

Keywords: *Rheology, micro-filtration, Xanthan gum, Guar gum, synergism.*