

Reologia de Xantana: uma Revisão sobre a Influência de Eletrólitos na Viscosidade de Soluções Aquosas de Gomas Xantana

Xanthan Rheological: a Review about the Influence of Electrolytes on the Viscosity of Aqueous Solutions of Xanthan Gums

Patrícia Silva Diaz¹; Claire Tondo Vendruscolo²; João Luiz Silva Vendruscolo³

Resumo

Diversas cepas de *Xanthomonas campestris* são capazes de produzir um biopolímero bacteriano denominado xantana, o qual é amplamente utilizado na indústria alimentícia. Para uma efetiva aplicação da xantana na indústria fazem-se necessários conhecimentos relacionados às propriedades químicas e à adição de eletrólitos, bem como seus efeitos nas características reológicas da solução de xantana. A cada novo biopolímero bacteriano sintetizado, surgem novos comportamentos reológicos, assim se faz necessário sua avaliação para posterior aplicação industrial. O presente trabalho tem como propósito revisar aspectos da estrutura química da xantana, efeitos da adição de eletrólitos e suas influências sobre a viscosidade apresentada por suas soluções.

Palavras-chave: Xantana. Eletrólito. Viscosidade.

Abstract

Several strains of *Xanthomonas campestris* are able to produce a bacterial biopolymer called xanthan which is widely used in the food industry. In order to have an effective use of the xanthan in the industry, not only the studies concerning the chemical properties of the xanthan should be considered, but also the studies related to its addition of electrolytes, and its effects in the rheological behaviour. When a new bacterial biopolymer is synthesized, new rheological behaviours appear. This study aims at review the influence of the chemical structural and addition of salts to the rheological behaviour of the xanthan aqueous solution.

Key words: Xanthan. Electrolyte. Viscosity.

Introdução

Tradicionalmente, os polissacarídeos usados no preparo e processamento de alimentos têm sido obtidos a partir de plantas terrestres e aquáticas como

carragena, goma guar e carboximetil celulose. Outra fonte possível de polissacarídeos para uso em alimentos é dada pela capacidade biossintética de alguns microrganismos não patogênicos com os quais

¹ Engenharia Química, Mestre em Ciências, Centro de Biotecnologia e Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil, bilica@ufpel.tche.br.

² Química Industrial, Doutora em Ciências dos Alimentos, Centro de Biotecnologia e Faculdade de Ciências dos Alimentos da Universidade Federal de Pelotas.

³ Engenheiro de Alimentos, Doutor em Engenharia Química, Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias – Centro de Pesquisa de Clima Temperado (EMBRAPA-CPACT).

se obtêm os biopolímeros bacterianos xantana, gelana e dextrana. O interesse por essa fonte de hidrocolóides reside nas características diferenciadas e vantajosas que eles apresentam, como: ingestão sem efeitos adversos, independência de produção com relação às condições climáticas e a instabilidade política de países produtores, o que permite continuidade em sua produção e alto rendimento a partir de substratos de baixo custo. Os polissacarídeos produzidos comercialmente em larga escala são atualmente a xantana e a dextrana (JEANES, 1974; SUTHERLAND, 1993; GARCIA-OCHOA et al., 2000). O biopolímero bacteriano xantana foi o segundo a ser comercializado e o primeiro utilizado na indústria de alimentos (KANG; VEEDER; COTTRELL, 1983). É o único produto aprovado em diversos países como Japão, Estados Unidos, França e Áustria para o uso em alimentos desde 1969 (KANG; VEEDER; COTTRELL, 1983; MORRIS, 1984). Na década de 90, quando ocorreu sua grande utilização como espessante, foram estudados novos patovares de *Xanthomonas* como *Xanthomonas campestris* pv manihotis (SCAMPARINI, 1991), *Xanthomonas campestris* pv pruni, incluindo suas diversas cepas (SOUZA, 1999; ANTUNES et al, 2000; MOREIRA, 2002; FORESTI, 2003), e *Xanthomonas campestris* pv campestris estudada por Foresti (2003). Algumas das aplicações da xantana na indústria de alimentos são molhos, coberturas para saladas, catchup, produtos de confeitarias, produtos dietéticos, sucos de frutas, sopas e caldos, entre outros, e neles ela é utilizada como agente espessante, estabilizante, suspensivo e auxiliar de emulsificação, possibilitando a criação de novos produtos de diferentes texturas (SUTHERLAND, 1993; AHLGREN, 1993; NITSCHKE; THOMAS, 1995; QUINN, 1999).

Atualmente, os maiores produtores de xantana são as empresas Merck e Pfizer, nos Estados Unidos da América, Rhône Poulenc e Sanofi-Elf, na França, e Jungbunzlauer, na Áustria. Estas produzem a goma tanto para uso em alimentos, como para outros usos industriais (GARCIA-OCHOA et al., 2000).

Vários patovares de *Xanthomonas campestris* são bactérias essencialmente fitopatogênicas

(CIVEROLO; HATTINGH, 1993) e produzem o polissacarídeo extracelular denominado “goma xantana”, a qual é obtida durante o processo de fermentação aeróbia de culturas puras em meio líquido (LILLY; WILSON; LEARCH, 1958). O crescimento destas bactérias em meio YM ágar é caracterizado por colônias de aspecto mucóide, com ou sem pigmentação (BRADBURY, 1984).

No entanto, as empresas produtoras deste biopolímero têm utilizado, tradicionalmente, o patovar campestris, mais especificamente a cepa NRRL B-1459 (SUTHERLAND, 1993).

A potencialidade do uso de biopolímeros nos mais diversos ramos industriais é um consenso na literatura existente. Observa-se uma contínua substituição dos polissacarídeos convencionais por produtos de origem microbiana. Diversos autores, como Scamparini (1991), Sutherland (1983) e Morris (1976, 1992), afirmam que as maiores vantagens dos biopolímeros microbianos em relação aos polissacarídeos convencionais são as propriedades físico-químicas reprodutíveis, além do baixo custo e da existência de fontes de suprimentos estáveis.

Estrutura e Conformação da Xantana

Jansson, Kenne e Lindberg (1975) determinaram a estrutura do biopolímero xantana como um heteropolissacarídeo com uma estrutura primária composta de repetidas unidades pentassacarídicas, formada por duas unidades de glicose, três unidades de manose e duas unidades de ácido glicurônico. A cadeia principal consiste de unidades de b-D-glicose ligadas na posição 1 e 4. A estrutura química da cadeia principal é idêntica à da celulose. Os trissacarídeos ligados lateralmente à cadeia principal são compostos por uma unidade de ácido D-glicurônico (β 1-2) e duas unidades de manose ligadas na posição do O-3 e por resíduos de glicose ligados (α 1-3) à cadeia principal. As ramificações trissacarídicas aparecem aderidas à cadeia principal do polímero, e dela resulta estrutura rígida. Esta estrutura pode existir na forma geométrica de simples, dupla ou tripla hélice (JANSSON; KENNE;

LINDBERG, 1975; MORRIS, 1976; MILAS; RINAUDO, 1979; VERGELATI; PEREZ, 1987; SUTHERLAND, 2001), e interage com outras moléculas de polímero para formar um complexo (GARCIA-OCHOA et al., 2000). As cadeias trissacarídicas laterais conferem solubilidade em meio aquoso e, juntamente com os ácidos glicurônico, pirúvico e acético conferem ionicidade à xantana, que além de aumentar a solubilidade também estão relacionadas à conformação molecular (MISAKI, 1993).

Esta composição química é apresentada pela xantana comercial, porém biopolímeros produzidos por *Xanthomonas campestris* pv *pruni* apresentam outro açúcar em sua composição, a ramnose. Estes resultados, também relatados por Lowson e Symes (1977), mostraram a presença de ramnose na xantana produzida por *Xanthomonas juglandis*; resultados idênticos foram obtidos por Souza (1999), Antunes et al. (2000) e Vendruscolo et al. (2000),

A molécula de xantana parece ter duas conformações: hélice e espiral aleatória, dependendo da temperatura de dissolução (MORRIS, 1976; GALINDO, 1994; CHALLEN, 1993). Possui caráter aniônico marcante, devido à presença dos ácidos D-glicurônico, pirúvico e grupamentos acetila em sua estrutura molecular. Nos produtos comerciais, estas funções ácidas encontram-se neutralizadas por eletrólitos (LEE, 1980; OHLWEILER, 1982; RUSSEL, 1994; ATKINS, 2001). Na xantana são utilizados os cátions Na^+ , K^+ e Ca^{+2} (MORRIS, 1996).

Um polissacarídeo somente apresenta propriedades de interesse comercial se for capaz de formar, de modo ordenado, estruturas secundárias, terciárias e, às vezes, quaternárias em meio aquoso. Para isso, a estrutura primária não pode constituir-se num impedimento para as associações intermoleculares e intramoleculares. A xantana é capaz de formar estas estruturas (MORRIS, 1984). Entretanto, apenas pela sua composição química, não é possível prever o tipo de estrutura secundária e terciária possíveis de serem formadas.

Polissacarídeos altamente solúveis e flexíveis normalmente funcionam apenas como espessantes (MORRIS, 1984; RINAUDO, 1993). A rigidez da cadeia principal da xantana, aliada à solubilidade induzida pelas cadeias laterais, e demais características da sua estrutura química conferem as características únicas que tornaram a xantana tão importante para a indústria de alimentos e outras.

A xantana passa por uma mudança na conformação de ordem para desordem quando em solução salina, de baixa força iônica e aquecida (MORRIS, 1996; PELLETIER et al., 2001). Apesar de muitos pesquisadores terem feito vários estudos acerca da mudança conformacional, a explanação da estrutura molecular não é razoável, ainda. Uma tentativa de determinar a conformação de ordem e desordem foi realizada com o estudo da adição de sódio na xantana. Uma solução de $0,01\text{mol L}^{-1}$ de cloreto de sódio confere à xantana uma conformação ordenada, a 25°C , de dupla hélice, como foi proposto por Morris (1996). A altas concentrações de NaCl , $0,1\text{mol L}^{-1}$ a 80°C , ocorre a conformação de desordem, na forma de uma espiral estendida, que contém pequeno número de duplas hélices, provocadas pelas repulsões eletrostáticas. A conformação de ordem-desordem pode ser considerada um processo parcial de junção de dupla hélice. Liu e Norisuye (1988) têm sugerido que a dupla hélice fundida do final da cadeia é obtida pelo aquecimento, e que o completo desenrolamento pode somente ser obtido com aquecimento a altas temperaturas. Na conformação ordenada, a cadeia lateral é dobrada em uma associação com a cadeia principal, enquanto na estrutura desordenada a cadeia lateral não está associada, e sim projetada distante da cadeia principal.

Reologia

Alguns conceitos sobre reologia são necessários definir para que possamos compreender melhor as características da goma xantana.

A reologia é o estudo da deformação e do escoamento da matéria (STEFFE, 1996; RAO, 1999). A deformação ocorre no caso da matéria estar no estado sólido, e o escoamento, quando a matéria está no estado líquido. A propriedade reológica de interesse no caso dos sólidos é a elasticidade e no caso dos líquidos é a sua viscosidade. No entanto, os materiais não podem ser diferenciados em sólidos ou líquidos com clareza, de modo que a propriedade reológica de interesse nestes casos é a viscoelasticidade (SHAW, 1975; PASQUEL, 1999; RAO, 1999).

A viscoplasticidade foi idealizada por Bingham (1922) apud Navarro, 1997 e constitui um fenômeno caracterizado pela existência de um valor residual para a tensão de cisalhamento, o qual deve ser excedido para que o material apresente um comportamento viscoso.

Se um material é um sólido hookeano, uma dada tensão aplicada corresponde à uma deformação, independente do tempo, e a energia aplicada é recuperada com o corpo voltando à sua forma original. Para um fluido perfeitamente viscoso, não há recuperação de energia, sendo esta dissipada com a deformação permanente do material (STEFFE, 1996). Sistemas reais comportam-se como sólidos e líquidos, logo, para um material viscoelástico, uma parcela da tensão aplicada poderá ser parcialmente recuperada, devido às propriedades elásticas, enquanto parte dela poderá ser dissipada devido às propriedades viscosas (NAVARRO, 1997).

Este comportamento está associado a composições que possuem interações partícula-partícula acentuadas, que são considerados fluidos como lamas e polpas de frutas com concentração de sólidos elevada, acima de um valor crítico. Estes fluidos antes de escoarem como um fluido newtoniano comportam-se como um sólido plástico, possuem tensão residual, e são chamados de fluidos viscoplásticos ideais. A viscoplasticidade é um fenômeno dependente do tempo que só ocorre em sistemas poliméricos. Os fluidos poliméricos

apresentam comportamento não-newtoniano em soluções diluídas, sendo possível verificar que, em repouso, as moléculas do polímero podem assumir uma posição equilibrada de formas (conformação) e, aleatória de orientações (configurações) (KREVELEN, 1990). Sob cisalhamento, estas moléculas mudam de forma e se afastam da posição de equilíbrio. As várias moléculas se alinham com as suas vizinhas, reduzindo a aleatoriedade do sistema molecular, tomando uma orientação global típica de sólidos, originando o comportamento viscoelástico (YOUNG, 1981; NAVARRO, 1997).

Ainda se deve considerar as interações intermoleculares ou pontos de junção que se movem ao longo da molécula sob deformação. A possibilidade da formação de uma rede temporária torna possível estabelecer uma deformação permanente, reduzindo a “memória” elástica do material. O cisalhamento irá aumentar a velocidade de redução de junções já existentes e diminuir a formação de novas junções. Assim, o comportamento é dependente do tempo devido ao tempo necessário para que o equilíbrio dos pontos de junção seja novamente alcançado (SHAW, 1975; RAO, 1999).

A pseudoplasticidade é caracterizada pela diminuição da viscosidade, fenômeno que ocorre à medida que aumenta a taxa de deformação aplicada no sistema, já a tixotropia é caracterizada pelo decréscimo da viscosidade aparente do líquido com o tempo de aplicação de uma dada taxa de deformação. (SHAW, 1975; YOUNG, 1981; NAVARRO, 1997).

A viscosidade de um líquido está relacionada com a resistência interna oferecida ao movimento relativo das diferentes partes desse líquido (RAO, 1999). Assim, o conhecimento do comportamento reológico das soluções é essencial para o seu processamento, avaliação, controle de qualidade e aceitabilidade do consumidor (STEFFE, 1996). Além de ser medida direta da qualidade do fluido, a viscosidade pode fornecer importantes informações a respeito das mudanças fundamentais na estrutura

do fluido durante um determinado processo, como polimerização, emulsificação e homogeneização. Para se avaliar as características de uma solução ou mesmo realizar o controle de qualidade de um produto alimentício, deve-se fazer testes reológicos a baixa tensão de cisalhamento. Esses testes simulam as condições de utilização do produto (SACAMPARINI, 1991), viscosidade aparente (h_a) é o parâmetro mais indicado (RAO, 1999). As altas tensões de cisalhamento são utilizadas para realizar estudos reológicos das condições do processamento de determinadas soluções ou produtos (SHAW, 1975).

Reologia de Polímeros

Soluções de biopolímeros bacterianos com propriedades reológicas interessantes do ponto de vista industrial geralmente exibem propriedades pseudoplásticas, viscoelásticas e tensão residual elevada (SUTHERLAND, 2001), porém a viscosidade aparente do caldo de fermentação era o parâmetro utilizado para avaliar a qualidade do biopolímero (SCAMPARINI, 1991; NITSCHKE; THOMAS, 1995; BUENO; GARCIA-CRUZ, 2000). Entretanto estudos mais recentes tem mostrado que este não é o melhor parâmetro de avaliação. Antunes (2000) mostrou que a análise da viscosidade de soluções aquosas de xantana revelam com maior precisão a potencialidade de aplicação industrial da goma, se comparado com o resultado de viscosidade do caldo de fermentação. A tendência atual é de avaliar a qualidade de um biopolímero através da determinação da viscosidade aparente, em solução aquosa de baixa concentração (SILVA; RAO, 1999; DIAZ, 2002; FORESTI, 2003). Souza (1999), Moreira (2002) e Tessmann (2002) avaliaram a qualidade de vários polímeros obtidos de diferentes cepas de *Xanthomonas campestris* pv pruni, utilizando como parâmetro a viscosidade aparente apresentada pelas soluções, sendo este o índice de qualidade usado para correlações entre diferentes xantanas (TORRESTIANA; FUCIKOVSKI; GALINDO, 1990). Este parâmetro também é

utilizado para avaliar a qualidade de outros biopolímeros como o produzido pela bactéria *Beijerinckia* sp. cepa 7070 (PADILHA et al., 1998; BORGES; VENDRUSCOLO, 2000).

Os biopolímeros bacterianos são capazes de formar soluções viscosas e géis em meio aquoso, mesmo em baixas concentrações (ROCKS, 1971). Segundo Stading (1988), não existe outra categoria de substâncias que exiba esse comportamento.

Dos parâmetros que interferem na viscosidade dos polímeros, pode-se citar o tipo de estrutura molecular e concentração de polímero. A viscosidade da solução aquosa de um polissacarídeo está diretamente relacionada com a rigidez de sua molécula que, por sua vez, depende da sua estrutura, principalmente primária e secundária, a qual está diretamente relacionada à bactéria utilizada e às condições operacionais do processo (BRADSHAW et al., 1983).

A viscosidade das soluções é elevada com o aumento da concentração do polímero. Este comportamento pode ser atribuído às interações intermoleculares e entrelaçamentos, devido ao acréscimo efetivo nas dimensões da macromolécula e no peso molecular (GARCIA-OCHOA et al., 2000). A concentração crítica (c^*), que em termos reológicos, é o ponto divisor entre uma suspensão diluída e concentrada, constitui o produto da formação de aglomerados de partículas; assim o movimento de uma partícula passa a ser dependente do movimento da partícula vizinha (RAO, 1999).

A viscosidade pode ser afetada pela presença das ramificações. Estudos preliminares preconizam que a introdução de ramificações reduz o grau de enrolamento de uma cadeia linear, sendo a viscosidade de um polímero ramificado menor que a de um linear de mesma composição química e peso molecular. A queda da viscosidade com o aumento de ramificação sempre ocorre quando os ramos não excedem a um dado comprimento, estando relacionado com a alteração no movimento cooperativo dos segmentos da cadeia. Alguns pesquisadores, porém, relatam que o aumento das

ramificações aumenta a viscosidade e que isto pode ocorrer quando as ramificações são longas e enrolam-se entre as cadeias, com comprimento maior que o crítico da cadeia (NAVARRO, 1997; RAO, 1999).

Reologia da Xantana

As soluções aquosas do biopolímero produzido por *Xanthomonas campestris* apresentam características reológicas diferenciadas dos demais polímeros tal como a alta viscosidade em baixa concentração. Em soluções altamente concentradas suas propriedades de interações moleculares e fraca gelatinização são manifestadas (JEANES, 1974). Apresenta altos níveis de pseudoplasticidade e estabilidade frente a variações de temperatura, pH, e presença de sais (SUTHERLAND, 1983). Ainda, dissolve-se rapidamente em água quente ou fria (ROCKS, 1971).

Segundo Cottrell (1979), a xantana é o polissacarídeo atualmente existente no mercado com a mais ampla estabilidade, induz à formação de soluções aquosas de alta viscosidade, são extremamente pseudoplásticas, apresentam tensão residual e uma certa tixotropia. Devido a isto, vem sendo amplamente utilizada em vários setores industriais (MARQUES et al., 1986; GARCIA-OCHOA et al., 2000). Pode ser utilizada como agente espessante, estabilizante e emulsificante, possibilitando a criação de novos produtos com texturas únicas (SANDERSON, 1990).

As propriedades reológicas das soluções de xantana podem ser diferentes, dependendo das diferentes cepas, variação das colônias e dos processos utilizados para obtenção do biopolímero (FUNAHASHI; YOSHIDA; TAGUCHI, 1987; TORRES et al., 1993; SOUZA, 1999; ANTUNES et al., 2000; MOREIRA et al., 2001).

A natureza do polímero pode modificar as propriedades reológicas das soluções de xantana (MILAS; RINAUDO; TINLAND, 1985). O conteúdo de piruvato e acetato na xantana afeta as

interações entre as moléculas de xantana e entre a xantana e outros polímeros (KANG; PETTITT, 1993; GARCIA-OCHOA et al., 2000). Tako e Nakamura (1993) verificaram variações no comportamento reológico de soluções de xantana, quando promoveram a desacetilação de sua molécula. Vendruscolo et al. (1999) observaram que a viscosidade de soluções de xantana produzidas por *Xanthomonas campestris* pv pruni tem relação direta com a composição química, como a estrutura e com a concentração do biopolímero sintetizado.

A viscosidade apresentada por soluções de xantana pode variar dependendo das modificações na composição química, tanto qualitativas como quantitativas (MOREIRA, 2002). As mudanças qualitativas estão relacionadas a variações na proporção entre glicose, manose e ácido glicurônico, as quais são decorrentes de cepas de diferentes espécies relacionadas à genética do microrganismo (SUTHERLAND, 1981, VENDRUSCOLO et al., 1998; MOREIRA et al., 1997; ANTUNES et al., 2000; MOREIRA, 2002). Ainda, pode ocorrer, a presença de outros monossacarídeos, como galactose e ramnose (SUTHERLAND, 1993). As mudanças quantitativas podem ser ocasionadas pelo processo de obtenção do biopolímero bacteriano como o meio de cultura, aeração, agitação, pH, temperatura e tempo (TORRES et al., 1993; SOUZA, 1999; MOREIRA et al., 2001). O peso molecular e o comprimento dos substituintes ácido pirúvico e acetila da xantana dependem da cepa de *Xanthomonas* (CADMUS et al., 1978, KENNEDY; JONES; BARKER, 1982), da composição do meio, e das condições operacionais usadas (CADMUS et al., 1978; GARCIA-OCHOA et al., 2000; MOREIRA, 2000).

Os biopolímeros produzidos a partir de meios de cultura alternativos, como os que contém soro de leite na sua composição, apresentaram qualidade inferior, isto é, viscosidade inferior a apresentada quando produzidos em meios convencionais (ANTUNES et al., 2000). Foresti (2003) utilizou na composição do meio de cultura alternativo infuso de arroz, obtendo

soluções de xantana com viscosidade superior a apresentada pela mesma cepa em meio convencional. Estes resultados confirmam a influência direta do meio de cultura sobre as características da xantana obtida, conforme relatado anteriormente por Souw e Demain (1979), Laneuville, Paquin e Turgeon (2000). Diaz et al (2000) estudaram a influência da concentração de sacarose adicionada no meio de cultura sobre a produção e viscosidade da xantana produzida por *Xanthomonas campestris* pv *pruni* cepa 06, concluindo que a produção é diretamente afetada pela concentração de sacarose, porém a viscosidade não apresenta variações significantes. Brites et al. (2000) avaliaram os efeitos da concentração de sais utilizados no meio de cultura sobre a produção e viscosidade da xantana obtida, verificando que, para cada concentração de sais do meio de cultura, ocorreram modificações diretas na produção e na viscosidade aparente das soluções de xantana.

A viscosidade aparente de uma solução de xantana também é afetada pelo tempo de fermentação na produção do biopolímero, como mostram os resultados obtidos por Conceição et al. (2000) para xantana produzida por *Xanthomonas campestris* pv *pruni* cepa 06. Nesse experimento, foi verificada a viscosidade das soluções de xantana em tempos de fermentação de 48 a 120 horas, obtendo a maior viscosidade em 48 horas de fermentação.

Um fator importante no comportamento reológico das soluções de xantana é a concentração, justamente por esta apresentar viscosidade elevada mesmo em baixíssimas concentrações. Entretanto, ao aumentar-se a concentração, a taxa de crescimento da viscosidade começa a diminuir (MISAKI, 1993). Em taxas de deformação reduzidas, o efeito do aumento da concentração sobre o aumento da viscosidade da xantana é mais percebido. Entretanto, concentrações mais elevadas apresentam maior pseudoplasticidade (ZHANG XUEWU et al., 1996; GARCÍA-OCHOA et al., 2000). A baixas concentrações de xantana, a viscosidade diminui pouco quando pequenas quantidades de sais são adicionadas à solução. Este efeito tem sido atribuído à redução das dimensões moleculares resultado da diminuição das forças

eletrostáticas intermoleculares (GARCIA-OCHOA et al., 2000). A viscosidade aumenta a altas concentrações de polímero ou quando uma alta concentração de sais é adicionada. Este efeito ocorre provavelmente pelas interações entre as moléculas de polímero (MILAS; RINAUDO; TINLAND, 1985; RAO, 1999). A viscosidade das soluções de xantana é dependente da concentração dos sais quando o conteúdo de sais ultrapassa $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ (KANG; PETTITT, 1993).

As propriedades reológicas das soluções de xantana são altamente dependentes da concentração de polímero e de qualquer eletrólito adicionado. A adição de eletrólito reduz o valor do módulo elástico, comparando com medidas de solução de xantana em água destilada. Este comportamento é típico de polieletrólitos e pode ser atribuído ao resultado de mudança na conformação causando decréscimo no volume hidrodinâmico, decrescendo assim os valores dos parâmetros reológicos. Acima da concentração crítica, a adição de eletrólito pode induzir a um aumento nos valores dos parâmetros reológicos por associações intermoleculares, facilitadas pela redução das repulsões eletrostáticas e ordenação das cadeias, conduzindo a uma rede tridimensional. Em solução 1% (m/v) a 25°C , a xantana adquire uma conformação ordenada igual à conformação na ausência de eletrólito. Contudo, a concentração do eletrólito presente influenciará a temperatura da transição ordem-desordem da xantana, uma vez no estado ordenado, as características estruturais e propriedades reológicas da solução de xantana são basicamente insensíveis à concentração do eletrólito (PELLETIER et al., 2001).

A xantana, por ser um polieletrólito, apresenta uma queda na viscosidade durante a adição de sais inorgânicos, a conformação altamente expandida ocorre a baixa força iônica, e transforma-se no tipo enrolamento ao acaso, que é mais compacto devido à separação das cargas (MORRIS, 1984). Soluções de xantana não somente mostram uma boa compatibilidade com sais, como também apresentam um incremento na viscosidade com a adição de 0,1%

de NaCl ou KCl, para concentrações de polímero entre 0,2% e 0,5% (JEANES; PITTSLEY; SENTI, 1961). Isso é resultado da estabilização da estrutura ordenada da xantana, gerando um aumento na associação intermolecular.

O estado de transição da estrutura da xantana depende do nível e da natureza dos sais na solução e do conteúdo de piruvato e acetato das cadeias laterais (CAPRON; BRIGANDT; MULLER, 1997).

Liu e Norisuye (1998), estudaram a mudança conformacional da estrutura da xantana por indução térmica em solução 0,01 mol L⁻¹ de NaCl e concluíram que as mudanças na viscosidade acompanham a mudança na conformação da estrutura entre um estado de ordem e desordem. Essa estrutura é extremamente dependente da concentração, e ainda se observa que a viscosidade da xantana a 80°C em estado desordenado é muito maior que a viscosidade da xantana a 25°C em estado ordenado. Assim, sugerem que a concentração de sais maior que 0,01 mol L⁻¹ é necessária se a total transição da conformação de ordem para desordem é desejada.

Para Morris (1977, 1984), o efeito de 0,1 mol L⁻¹ KCl na viscosidade da solução de xantana depende da concentração da goma, pois, para uma concentração menor que 0,25%, a viscosidade da solução aquosa de xantana sem adição de sais é maior que da solução adicionada de sais.

Segundo Sutherland (2001), as soluções de xantana são muito mais estáveis na presença de sais, provavelmente devido à manutenção de alguns graus de ordem, e ainda faz com que diminua a temperatura de transição da conformação da estrutura.

Hatakenaka, Liu e Norisuye (1987) determinaram a viscosidade em função do tempo de soluções aquosas de xantana e NaCl. Esse estudo mostrou que a viscosidade diminui marcadamente com o passar do tempo, sugerindo que a solução de xantana e NaCl solubilizada a 80°C sofre uma mudança conformacional ou degradação. Para diferentes concentrações de xantana com 0,01; 0,005 e 0,1 mol L⁻¹ de NaCl, o comportamento da viscosidade

diminui gradualmente com o tempo. Entretanto, o valor da viscosidade para solução de xantana com 0,005 mol L⁻¹ de NaCl é maior que com 0,01 mol L⁻¹, sugerindo que, no tempo zero, a estrutura desordenada da solução de xantana é mais expandida a baixas concentrações de NaCl pela repulsão eletrostática entre os grupos ionizados.

Diaz (2002) estudou a adição de cloreto de potássio e de sódio em soluções de xantana produzida por *Xanthomonas campestris* pv pruni cepa 24, verificando que a maior viscosidade aparente apresentada pela solução foi com a adição de cloreto de potássio na concentração de 0,1 mol L⁻¹.

O incremento no valor da viscosidade aparente devido à adição de sais também foi relatado por Pinto et al (2000) estudando soluções aquosas de biopolímeros produzidos por *Beijerinckia* sp 7070 e T32A. Nelas o uso de 1% de KCl nas soluções proporcionou um acentuado aumento para soluções de biopolímeros da cepa 7070, enquanto para a cepa T32A provavelmente não apresenta comportamento distinto frente a adição de íons. Segundo Vendruscolo, Scamparini e Vendruscolo (1994) e Padilha et al. (1997), a temperatura de fermentação tem influência direta sobre as características reológicas do biopolímero produzido por *Beijerinckia* sp.

O método tradicional de recuperação de xantana após a fermentação recomenda o uso de etanol, porém o estudo realizado por Medeiros et al. (2000) mostrou que a adição de NaCl a 1% reduz a quantidade de etanol necessária para a recuperação e, assim, é obtido um biopolímero com um valor de viscosidade aparente superior ao recuperado somente com etanol.

Os estudos da adição de sais nas soluções de xantana e os efeitos na viscosidade apresentam resultados contraditórios. Em alguns casos, a viscosidade de soluções diluídas de xantana aumenta na presença de cloreto de sódio, em outros a viscosidade tem uma moderada diminuição (MOREIRA, 2002). Portanto verifica-se que, as

características reológicas de um biopolímero dependem diretamente da bactéria utilizada, de todo o processo de fermentação e recuperação, e das condições de utilização da goma.

Durante as medidas reológicas ainda se podem detectar alguns efeitos na viscosidade da xantana ocasionados pelo cisalhamento provocado na estrutura como: a orientação das moléculas, o estiramento, a deformação das estruturas, efeitos que fazem com que a viscosidade diminua, dependendo da taxa de cisalhamento aplicada. Ainda pode ocorrer a destruição dos agregados, o que faz aumentar a viscosidade pelo aumento da superfície de contato (RAO, 1999). Quando a taxa de cisalhamento aplicada é elevada, além de ocorrer o alinhamento das moléculas, as ligações entre estas podem se desfazer, pois as forças aplicadas são mais fortes que as ligações entre as moléculas. O cisalhamento, portanto, leva muitas vezes a um rompimento irreversível (reodestruição) das ligações entre os elementos estruturais de um material (SHAW, 1975). A xantana é extremamente pseudoplástica, e esta é uma característica muito desejada em diversas situações. Do ponto de vista sensorial, os polissacarídeos que possuem comportamento pseudoplástico provocam menor sensação de gomosidade na boca do que aqueles com comportamento newtoniano. A taxa de cisalhamento da mastigação é considerada como entre $50\text{-}200\text{s}^{-1}$ (MORRIS, 1984). A xantana exibe viscosidades muito baixas nesta faixa de taxa de cisalhamento, fazendo com que o produto alimentício no qual foi utilizada pareça menos viscoso ao paladar e o sabor seja mais bem percebido (CHALLEN, 1993).

Na adição de xantana em produtos, ainda se deve considerar os aspectos de solubilização do biopolímero. Para que a goma desenvolva seu potencial de viscosidade, Diaz (2002) avaliou diferentes métodos de solubilização de xantana em água destilada, incluindo métodos oficiais de solubilização. Esse autor concluiu que, entre as diversas metodologias recomendadas na literatura, o método proposto por Zhang Xuewu et al. (1996)

foi o que apresentou maior viscosidade aparente da solução de xantana produzida por *Xanthomonas campestris* pv *pruni* cepa 24.

Conclusão

A xantana vem sendo um dos biopolímeros mais utilizados e estudados para aplicações industriais devido as suas características diferenciadas. No Brasil, na última década houve relevantes progressos relativos ao conhecimento das características químicas, físicas e biológicas do biopolímero bacteriano xantana, obtido de novos patovares de *Xanthomonas*, como também a caracterização de inúmeras novas cepas de *Xanthomonas campestris* pv *pruni*. Recentes estudos mostraram a relevância da escolha do método de solubilização no preparo das amostras para as determinações de viscosidade. A influência da presença de eletrólitos no comportamento reológico, especificamente na viscosidade, das soluções aquosas de xantana foi consenso na literatura revisada.

Referências

- AHLGREN, J.A. Purification and properties of a xanthan depolymerase from a heat-stable salt-tolerant bacterial consortium. *Journal of Industrial Microbiology*, Amsterdam, v.12, n.2, p.87-92, 1993.
- ANTUNES, A. E. C. *Produção, viscosidade e composição de xantana por Xanthomonas campestris pv pruni em meios convencionais e alternativos*. 2000. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) - Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial, Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2000.
- ANTUNES, A. E. C.; MOREIRA, A. S.; VENDRUSCOLO, J. L. S.; VENDRUSCOLO, C. T. Síntese de biopolímero xantana em meios convencionais e alternativos: viscosidade x composição. *Revista Brasileira de Agrociência*, Pelotas, v.6, n.2, p.83-87, 2000.
- ATKINS, P. *Princípios de Química: questionando a vida moderna e o meio ambiente*. São Paulo: Bookman, 2001. p.698-701.
- BRADBURY, J. F. *Xanthomonas*. In: GARRITY, G. M.(Ed.). *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. Baltimore: Williams and Wilkins, 1984. v.1.

- BRADSHAW, I. J.; NISBET, B. A.; KERR M. H.; SUTHERLAND, I. W. Modified xanthan: its preparation and viscosity. *Carbohydrate Polymers*, Barking, v.3, p.23-38, 1983.
- BRITES, P. C.; DIAZ, P. S. PAN, A.; VENDRUSCOLO, C. T. Efeitos da concentração dos sais na produção e viscosidade de xantana. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 9., 2000, Pelotas. *Resumos...* Pelotas: UCPEL, 2000. p.731.
- BORGES, C. D.; VENDRUSCOLO, C. T. Produção e comportamento reológico de biopolímero sintetizado por bactérias do gênero *Beijerinckia*: cepas T32A, T125 e E4. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 9., 2000, Pelotas. *Resumos...* Pelotas: UCPEL, 2000. p.104.
- BUENO, S. M.; GARCIA-CRUZ, C. H. Influência do tempo de fermentação e presença de sais na reologia do caldo de fermentação de uma bactéria do gênero *Pseudomonas* isolada do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 17., 2000, Fortaleza. *Livro de Resumos...*Fortaleza, 2000. p.9-47.
- CADMUS, M. C.; KNUTSON, C. A.; LAGODA, A. A.; PITTSLEY, J. E.; BURTON, K. A. Synthetic media for production of quality xanthan gum in 20 liter fermentors. *Biotechnology and Bioengineering*, New York, v.20, p.1003-1014, 1978.
- CAPRON, I.; BRIGANDT, G.; MULLER, G. About the native and renatured conformation of xanthan exopolysaccharide. *Polymer*, Berlin, v.38, n.21, p.5289-5295, 1997.
- CHALLEN, I. A. Xanthan gum: a multifunctional stabiliser for food products. In: NISHINARI, K.; DOI, E. *Food hydrocolloids: structures, properties, and functions*. New York: Plenum Press, 1993. p.135-140.
- CIVEROLO, E. L.; HATTINGH, M. J. *Xanthomonas campestris* pv *pruni*: cause of Prunus Bacterial Spot. In: SWINGS, J.; CIVEROLO, E. L. *The Genus Xanthomonas*. London: Chapman & Hall, 1993. p.399.
- CONCEIÇÃO, J. J.; MOREIRA, A. S.; VENDRUSCOLO, C. T.; VENDRUSCOLO, J. L. S. Influencia Del tiempo de fermentación em la producción, viscosidad aparente y composición química del polímero sintetizado por *Xanthomonas campestris* pv *pruni* cepa 06. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 17., 2000, Fortaleza. *Livro de Resumos...*Fortaleza, 2000. p.9-56.
- COTTRELL, I. W. Industrial potential of fungal and bacterial polysaccharides. *Abstracts of Papers of the American Chemical Society*, Washington, p. 251-270, apr., 1979. (ACS Symposium Series, 126).
- DIAZ, P. S.; BRITES, P. C.; PAN, A.; VENDRUSCOLO, C. T. Determinação da viscosidade de biopolímeros obtidos com diferentes concentrações de sacarose no meio de produção. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE NUTRIÇÃO, ALIMENTAÇÃO E TECNOLOGIA, 1., 2000, São Paulo. *Anais...* São Paulo: UNIFESP, 2000.
- DIAZ, P. S. *Influência de parâmetros físicos e químicos e da adição de íons no comportamento reológico de gomas xantana*. 2002. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) - Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2002.
- FORESTI, A. P. *Produção e qualidade reológica da xantana sintetizada por diferentes cepas de Xanthomonas campestris em meios modificados*. 2003. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) - Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2003.
- FUNAHASHI, H.; YOSHIDA, T.; TAGUCHI, H. Effect of glucose concentration on xanthan gum production by *Xanthomonas campestris*. *Journal Fermentation Technology*, Osaka, v.65, p.603-606, 1987.
- GALINDO, E. *Aspects of the process for xanthan production*. London: Institution of Chemical Engineers, 1994. p.227-237.
- GARCIA-OCHOA, F.; SANTOS, V. E.; CASA, A.; GÓMEZ, E. Xanthan gum: production, recovery and properties. *Biotechnology Advances*, New York, v.18, p.549-579, 2000.
- HATAKENAKA, K.; LIU, W.; NORISUYE, T. Stability of xanthan in aqueous sodium chloride at elevated temperature. *International Journal of Biological Macromolecules*, Oxford, v.9, p.346-348, 1987.
- JANSSON, P. E.; KENNE, L.; LINDBERG, B. Structure of the extracellular polysaccharide from *Xanthomonas campestris*. *Carbohydrate Research*, Amsterdam, v.45, p.275-285, 1975.
- JEANES, A.; PITTSLEY, J. E.; SENTI, F. R. Polysaccharide B-1459: a new hydrocolloid polyelectrolyte produced from glucose by bacterial fermentation. *Journal Applied Polymer Science*, New York, v.5, p.519-526, 1961.
- JEANES, A. Extracellular microbial polysaccharides: new hydrocolloids of interest to the food industry. *Food Technology*, Chicago, v.28, n.5, p.34-40, 1974.
- KANG, K. S.; VEEDER, G. T.; COTTRELL, I. W. Some novel bacterial polysaccharides of recent development. In: BUSHHELL, M. E. *Progress in Industrial Microbiology*, Amsterdam, v.18, p.231-257, 1983.

- KANG, K. S.; PETTIT, D. J. Xanthan, gellan, wellan and rhamosan. In: WHISTLER, R. L. *Industrial gums: polysaccharides and their derivatives*. New York: Academic Press, 1993. p.341.
- KENNEDY, J.F.; JONES, P.; BARKER, S.A. Factors affecting microbial growth and polysaccharide production during the fermentation of *Xanthomonas campestris* cultures. *Enzyme and Microbial Technology*, New York, v.4, n.1, p.39-43, 1982.
- KREVELEN, D. W. V. *Properties of polymers*. 3. ed. São Paulo: Elsevier, 1990.
- LANEUVILLE, S. I.; PAQUIN, P.; TURGEON, S. L. Effect of preparation conditions on the characteristics of whey protein xanthan gum complexes. *Food Hydrocolloids*, Oxford, v.14, p.305-314, 2000.
- LEE, J. D. *Química Inorgânica: um novo texto conciso*. São Paulo: Edgard Blucher, 1980. p.133-258.
- LILLY, V. G.; WILSON, H. A.; LEARCH, J. G. Bacterial polysaccharides II. Laboratory Scale production of polysaccharides by species *X. campestris*. *Applied Microbiology*, Washington, v.6, p.105-109, 1958.
- LIU, W.; NORISUYE, T. Order-disorder conformation change of xanthan in 0.01M aqueous sodium chloride: dimensional behavior. *Biopolymers*, New York, v.27, p.1641-1654, 1988.
- LOWSON, C. J.; SYMES, K. C. Oligosaccharides produced by partial acetolysis of xanthan gum. *Carbohydrates Research*, Kidlington, v.58, p.433-438, 1977.
- MARQUES, A. M.; ESTANOL, I.; ALSINA, J. M.; FUSTÉ, C.; SIMON-PUJOL, D.; GUINEA, J.; CONGREGADO, F. Production and rheological properties of the extracellular polysaccharide synthesized by *Pseudomonas sp* strain ESP-5028. *Applied and Environmental Microbiology*, Washington, v.52, n.5, p.1221-1223, 1986.
- MEDEIROS, I. S.; MOREIRA, A. S.; VENDRUSCOLO, C. T.; CONCEIÇÃO, J. J.; VENDRUSCOLO, J. L. S. Influência do método de recuperação e purificação de xantana produzida por *Xanthomonas campestris* pv pruni cepa 06. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 17., 2000, Fortaleza. *Livro de Resumos...*Fortaleza, 2000. p.9-29.
- MILAS, M.; RINAUDO, M. Conformational investigation on the bacterial polysaccharide xanthan. *Carbohydrate Research*, Kidlington, v.76, p.189-196, 1979.
- MILAS, M.; RINAUDO, M.; TINLAND, B. The viscosity dependence on concentration, molecular weight and shear rate of xanthan solutions. *Polymer Bulletin*, Berlin, v.14, p.157-164, 1985.
- MISAKI, A. Structural Aspects of Some Functional Polysaccharides. In: NISHINARI, K.; DOI, E. *Food hydrocolloids: structures, properties, and functions*. New York: Plenum Press, 1993. p.1-19.
- MOREIRA, A. S.; VENDRUSCOLO, C. T.; BADIALI, E. F.; PADILHA, F. F. Açúcares componentes de biopolímeros sintetizados por *Xanthomonas campestris* pv pruni e *Beijerinckia sp*. In: CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS DA UFPEL, 1., 1997, Pelotas. *Anais...* Pelotas: UFPEL, 1997.
- MOREIRA, A. S.; VENDRUSCOLO, J. L. S.; GIL-TURNES, C.; VENDRUSCOLO, C. T. Screening among 18 novel strains of *Xanthomonas campestris* pv pruni. *Food Hydrocolloids*, Oxford, v.15, n.4-6, p.469-474, jul./nov. 2001.
- MOREIRA, A. S. Produção, caracterização e aplicação de biopolímero sintetizado por cepas de *Xanthomonas campestris* pv pruni. 1998. Tese (Doutorado em Biotecnologia) - Centro de Biotecnologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2002.
- MORRIS, E. R. Molecular origin of xanthan solution properties. *Abstracts of Papers of the American Chemical Society*, Washington, v.172, p.19-19, 1976.
- MORRIS, E. R. Molecular origin of xanthan solution properties. In: SANDFORD, P. A. *Extracellular microbial polysaccharides*. Washington: American Chemical Society, 1977. p.83-89. (ACS Symposium Series, 45).
- MORRIS, E. R. Rheology of hydrocolloids. In: PHILLIPS, G.O.; WEDLOCK, D.J.; WILLIAMS, P.A. *Gums and stabilisers for the food industry*. Oxford: Pergamon Press, 1984. p.57-78.
- MORRIS, V. J. Science, structure and applications of microbial polysaccharides. In: : PHILLIPS, G.O.; WEDLOCK, D.J.; WILLIAMS, P.A. *Gums and Stabilisers for the Food Industry*. Oxford: Pergamon Press, 1992. p.315.
- MORRIS, E. R. Rheology of xanthan: Suspension of particles and stabilization of emulsions. *Foods and Food Ingredients: Journal of Japan*, Tokyo, v.167, p.31-36, 1996.
- NAVARRO, R. F. *Fundamentos de Reologia de Polímeros*. Caxias do Sul: Universidade de Caxias do Sul, 1997. p.300.
- NITSCHKE, M.; THOMAS, R. W. S. P. Xanthan gum production by wild-type isolates of *Xanthomonas campestris*. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, Dordrecht, v.11, p.502-504, 1995.
- OHLWEILER, O. A. *Química Analítica Quantitativa*. 3. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1982. p.65-70.

- PADILHA, F. F.; VENDRUSCOLO, J. L. S.; VENDRUSCOLO, C. T.; DELLAGOSTIN, O. A.; KOETZ, P. R. Influência dos parâmetros de produção na viscosidade aparente de soluções aquosas de biopolímeros obtidos por *Beijerinckia* sp 7070. In: CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS DA UFPEL, 1., 1997, Pelotas. *Anais...* Pelotas: UFPEL, 1997.
- PADILHA, F. F.; DELLAGOSTIN, O. A.; VENDRUSCOLO, J. L. S.; SCAMPARINI, A. R. P.; VENDRUSCOLO, C. T. Rheological and production studies of polysaccharide synthesized by *Beijerinckia* sp strain 7070. In: INTERNATIONAL FOOD HYDROCOLLOID CONFERENCE, 1998, Osaka.
- PASQUEL, A. Gomas: Utilização e Aspectos Reológicos. *Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v.33, p.86-97, 1999.
- PELLETIER, E.; VIEBKE, C.; MEADOWS, J.; WILLIAMS, P. A. Arheological study of the order-disorder conformational transition of xanthan gum. *Biopolymers*, New York, v.59, p.339-346, 2001.
- PINTO, E. P.; VENDRUSCOLO, C. T.; MOREIRA, A. S.; MACHADO, M. I.; VENDRUSCOLO, J. L. S.; BORGES, C. D. Influência da adição de sais na viscosidade de biopolímeros de *Beijerinckia* sp 7070 e T32A. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 17., 2000, Fortaleza. *Livro de Resumos...* Fortaleza, 2000. p.9-31.
- QUINN, F. X. *Polymeric Materials Encyclopedia*. Boca Raton: Ed. Concise, 1999. p.1652-1653.
- RAO, M. A. *Rheology of Fluid and Semisolid Foods: principles and applications*. New York: Ed. Aspen Publishers, 1999. p.433.
- RINAUDO, M. On the Relation Structure-Properties of Some Polysaccharides Used in the Food Industry. In: NISHIMARI, K; Doi, E. *Food hydrocolloids: structures, properties, and functions*. New York: Plenum Press, 1993. p.21-34.
- ROCKS, J. K. Unusual rheological properties and heat, acid, and salt stabilities make glucose-derived hydrocolloid a versatile food additive. *Food Technology*, Chicago, v.25, p.476-484, 1971.
- RUSSEL, J. B. *Química geral*. São Paulo: Makron Books, 1994. v.1, p.307-524.
- SANDERSON, G. R. Gellan Gum. *Applied Science*, New York, v.479, p.201-232, 1990.
- SCAMPARINI, A. R. P. Modification of xanthan gum. In: WOLD CONGRESS OF FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY, 8., 1991, Toronto. *Abstracts...* Toronto, 1991. p.177
- SHAW, D. J. *Introdução a química dos colóides e de superfícies*. São Paulo: Edgard Blucher, 1975. p.180.
- SILVA, J. A. L.; RAO, M. A. Role of rheological behavior in sensory assessment of fluid foods. In: RAO, A. *Rheology of Fluid and Semisolid Foods: principles and applications*. New York: Aspen, 1999. p.443.
- SOUZA, A. S. *Produção e Caracterização dos Biopolímeros Sintetizados por Xanthomonas campestris pv pruni cepas 24 e 58*. 1999. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) - Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 1999.
- SOUW, P.; DEMAIN, A. L. Nutritional studies on xanthan production by *Xanthomonas campestris* NRRL B-1459. *Applied and Environmental Microbiology*, Washington, v.37, n. 6, p.1186-1192, 1979.
- STADING, M. *Gel structure and rheology in theory and practice*. 1998. Tese (PhD) - Department of Food Science, Chalmers University of Technology, Sweden, 1988.
- STEFFE, J. F. *Rheological Methods in Food Process Engineering*. Michigan: Ed. Freeman Press, 1996. p.428.
- SUTHERLAND, I. W. *Xanthomonas* polysaccharides improved methods for their comparison. *Carbohydrate Polymers*, Shannon, v.1, p.107-115, 1981.
- SUTHERLAND, I. W. Extracellular polysaccharide. In: REHM, H. J.; REED, G. (Ed.). *Biotechnology*. Weinheim: Verlag Chemie, 1983. v.3, p.531-574.
- SUTHERLAND, I. W. Xanthan. In: SWINGS, J. G.; CIVEROLO, E. L. (Ed.). *Xanthomonas*. London: Chapman & Hall, 1993. p.399.
- SUTHERLAND, I. W. Microbial polysaccharides from Gram-negative bacteria. *International Dairy Journal*, Kidlington, v.11, p.663-674, 2001.
- TAKO, M.; NAKAMURA S. Rheological properties of deacetylated xanthan in aqueous media. *Agricultural and Biological Chemistry*, Bunkio-Ku, v.12, p.2987, 1993
- TESSMANN, C. *Caracterização molecular de Xanthomonas campestris pv pruni pela técnica de RAPD e relação com a planta hospedeira e com a produção, viscosidade e composição química da xantana*. 2002. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) - Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2002.
- TORRES, L. G.; BRITO, E.; GALINDO, E.; CHOPIN, L. Viscous Behaviour of Xanthan Aqueous Solutions from a Variant of *Xanthomonas campestris*. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, Osaka, v.75, p.58-64, 1993.

- TORRESTIANA, B.; FUCIKOVSKY, L.; GALINDO, E. Xanthan production by some *Xanthomonas* isolates. *Letters in Applied Microbiology*, Oxford, v.10, p.81-83,1990.
- VENDRUSCOLO, C. T.; MOREIRA, A. S.; SCAMPARINI, A. R.P.; ZAMBIAZI, R. SOUZA, A. S. News heteropolysaccharides produced by *Xanthomonas campestris* pv pruni C24. In: INTERNATIONAL FOOD HYDROCOLLOID CONFERENCE, 1998, Osaka.
- VENDRUSCOLO, C. T.; MOREIRA, A. S.; VENDRUSCOLO, J. L. S.; ANTUNES, A. Relação entre composição química e viscosidade de biopolímero xantana produzido por *Xanthomonas campestris* pv pruni. In: ENCONTRO DE DEBATES SOBRE O ENSINO DE QUÍMICA, 19., 1999. *Anais...* Pelotas: UFPEL, 1999. v.1, p.24.
- VENDRUSCOLO, C. T.; MOREIRA, A. S.; SOUZA, A. S.; ZAMBIAZI, R.; SCAMPARINI, A. R. P. Heteropolysaccharides produced by *Xhantomonas campestris* pv pruni C24. In: NISHINARI, K. *Hydrocolloids*. Japan: Elsevier, 2000. p.187-191.
- VENDRUSCOLO, J. L. S.; SCAMPARINI, A. R. P.; VENDRUSCOLO, C. T. Influência da temperatura de fermentação nas características reológicas do biopolímero produzido por *Beijerinckia* sp. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 14., São Paulo. *Anais:...* São Paulo, 1994.
- VERGELATI, C.; PEREZ, S. Molecular modelling of the xanthan chain conformations. *International Journal of Biological Macromolecules*, Amsterdam, v.9, p.211-218, 1987.
- YOUNG, R. J. *Introduction to polymer*. New York: Chapman & Hall, 1981.
- ZHANG XUEWU; LIU XIN; GU DEXIANG; ZHOU WEI; XIE TONG; MO YONGHONG. Rheological models for xanthan gum. *Journal of Food Engineering*, Kidlington, v.27, p.203-209, 1996.