

# ***Goma xantana: produção, recuperação, propriedades e aplicação***

## ***Xanthan gum: Production, recovery, properties and application***

**Márcia de Mello Luvielmo**

Doutora em Ciência de Alimentos, Professora Adjunta da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL)  
Rua Mateus Tonietti, 187, Rio Grande, RS, Brasil, CEP 96201-590  
mmluvielmo@gmail.com

**Adilma Regina Pippa Scamparini**

Docente do Programa de Pós-graduação em Ciência de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos  
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)  
Rua Ferreira Penteado, 960 ap. 4B, Campinas, SP, Brasil, CEP 13073-020  
scamparni@uol.com.br

### **Resumo**

As bactérias pertencentes ao gênero *Xanthomonas* podem produzir goma xantana, um polissacarídeo de enorme interesse para as indústrias de alimentos, farmacêuticas e de petróleo. A goma apresenta capacidade de formar soluções viscosas e géis hidrossolúveis que lhe fornece propriedades reológicas únicas. Atualmente toda a goma xantana consumida no Brasil, provém de importações, porém o Brasil tem um grande potencial para a fabricação deste polímero em escala industrial, já que temos matéria-prima básica para sua produção: açúcar, extrato de levedura e álcool do setor sucro-alcooleiro. O objetivo dessa revisão é atualizar os conhecimentos sobre a produção, recuperação, propriedades e aplicação da goma xantana.

**Palavras-chave:** goma xantana, produção, aplicação.

### **Abstract**

The bacteria belonging to the gender *Xanthomonas* can produce xanthan gum, a polysaccharide of enormous interest for food, pharmaceutical and petroleum industries. The gum presents capacity to form viscous solutions and gels hydrosoluble that supplies its unique reological properties. Actually, all xanthan gum consumed in Brazil, becomes from imports, however Brazil has a great potential for production of this polymeric in industrial scale, since we have basic raw material for its production: sugar, yeast extract and alcohol of sugar-alcohol section. The objective of this review is to update the knowledge about production, recovery, properties and application of the xanthan gum.

**Key words:** xanthan gum, production, application.

## **1. Introdução**

Na década de 1950, uma nova geração de produtos surgiu no mercado internacional: os polissacarídeos de origem microbiana. Até então, os polissacarídeos utilizados eram os originados de plantas marinhas e terrestres.

A produção desses polímeros, em condições controladas de fermentação, garante um material de qualidade e fornecimento constante não influenciada por variações climáticas. A grande diversidade de estruturas químicas capaz de ser elaborada pelos microrganismos possibilita a obtenção de polímeros hidrossolúveis com diferentes propriedades. A esse grupo de polissacarídeos solúveis em água, de origem vegetal, animal ou microbiológica, foi dada a designação de gomas industriais.

O polissacarídeo que para uma bactéria é usado como proteção contra a dessecação, o ataque de amebas, fagócitos e bacteriófagos, é para nós um produto capaz de formar soluções viscosas em meio aquoso, mesmo em baixas concentrações (Souza e Vendrusculo, 1999).

A goma xantana é um polissacarídeo sintetizado por uma bactéria fitopatogênica do gênero *Xanthomonas*, tem extrema importância comercial. Esse polímero tem sido o mais utilizado em alimentos, no Brasil e no mundo. Foi aprovado pelo FDA (*Food and Drug Administration*) em 1969, sendo aplicado a inúmeros produtos em diferentes segmentos industriais, entre eles, alimentos, fármacos, cosméticos, químico e petroquímico, o que se deve principalmente a suas propriedades reológicas, que permitem a formação de soluções viscosas a baixas concentrações (0,05-1,0%), e estabilidade em ampla faixa de pH e temperatura (Fontaniella *et al.*, 2002; Navarrete *et al.*, 2001; Scamparini *et al.*, 2000; García-Ochoa *et al.*, 2000; Sutherland e Kennedy, 1996; Meyer *et al.*, 1993).

O processo de produção da goma consiste nas etapas de obtenção do pré-inóculo, inóculo, fermentação, pasteurização, remoção das células, precipitação, separação e secagem da goma. O crescimento dos microrganismos e a produção da goma xantana são influenciados por fatores tais como o tipo de reator, o modo de operação (batelada ou contínuo), composição do meio, e as condições da cultura (temperatura, pH e concentração de oxigênio dissolvido) (García-Ochoa *et al.*, 2000).

Devido à grande aplicação da goma xantana e ao seu amplo mercado mundial, várias pesquisas vêm sendo feitas para otimizar a produção através da seleção de novas linhagens, da adequação das condições ótimas de crescimento celular, produção, recuperação e purificação desse polissacarídeo (Rottava, 2005; Funahashi *et al.*, 1987; Kennedy *et al.*, 1982).

O presente estudo teve por objetivo fazer uma revisão aprofundada sobre produção, recuperação, propriedades e aplicação da goma xantana.

## 2. Goma Xantana

### 2.1. O gênero *Xanthomonas*

*Xanthomonas* é um gênero da família da *Pseudomonaceae*. Todos os microrganismos desse gênero são fitopatogênicos, com exceção do *Xanthomonas maltophilia* (Sutherland, 1993; Swings *et al.*, 1993; García-Ochoa *et al.*, 2000). A *Xanthomonas* infecta uma extensa variedade de plantas, incluindo alguns de interesse para a agricultura, como a alcachofra, o algodão, a ameixa, a berinjela, o brócolis, a couve, a couve-flor, a couve de Bruxelas, o maracujá, a mostarda, a nectarina, a pimenta, o pimentão, o rabanete, o repolho, o tomate, a alfafa, o pêssego e outras (NCPBP, 2009).

Uma das mais sérias bacterioses de cultivos vegetais é a Podridão Negra, causada pelo *X. campestris* pv. *campestris*. Essa doença pode ser observada em qualquer estágio de desenvolvimento da planta e caracteriza-se por veias nas folhas que se tornam amarelas e negras. É de desenvolvimento rápido, propagando-se em poucas semanas, levando a planta à morte e, conseqüentemente, a grandes perdas econômicas (Oliveira *et al.*, 2000; Azevedo *et al.*, 2002).

O que para uma bactéria é usado como proteção contra a dessecação, o ataque de amebas, de fagócitos e de bacteriófagos, é para nós um produto capaz de formar soluções viscosas em meio aquoso, mesmo em baixas concentrações (Souza e Vendrusculo, 1999).

Ramírez *et al.* (1988) sugerem que o grau de virulência deve ser usado como um critério para selecionar e isolar bactérias que produzirão uma goma xantana com alta qualidade.

### **2.1.1. *Xanthomonas campestris***

*X. campestris* é uma bactéria fitopatogênica que infecta diversas espécies de crucíferas, causando a morte destas plantas. Quando esta bactéria infecta a planta, ela produz um polissacarídeo de alto peso molecular, conhecido como goma xantana (Fontaniella *et al.*, 2002).

Algumas espécies são mais eficientes, tal como *Xanthomonas campestris* (Kennedy e Bradshaw, 1984). *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* CA110 corresponde à linhagem NRRL B-1459 tem sido extensamente usado para a produção industrial de goma xantana (Jeanes, 1974; Sutherland, 1993) muito estudada e utilizada por diferentes pesquisadores (Moraine e Rogovin, 1973; Souw e Demain, 1979; Katzen *et al.*, 1996; Esgalhado *et al.*, 2001, 2002; Hsu e Lo, 2003).

## **2.2. A goma xantana**

A goma xantana é um polissacarídeo de elevado interesse industrial, principalmente para as indústrias de alimentos, farmacêuticas e de petróleo. O interesse deve-se às suas propriedades físico-químicas, que superam todas as dos outros polissacarídeos disponíveis no mercado. Dentre estas propriedades destacam-se a sua elevada viscosidade em baixas concentrações, bem como sua estabilidade em ampla faixa de temperatura e de pH, mesmo na presença de sais (García-Ochoa *et al.*, 2000).

A goma xantana é altamente estável em ampla faixa de pH, sendo afetada apenas com valores de pH >11 e < 2.5. Essa estabilidade depende da concentração: quanto maior a concentração, maior a estabilidade da solução (Pettitt, 1982).

A goma xantana é também estável em ampla faixa de temperatura (10°C a 90°C) e a viscosidade é pouco afetada na presença de sais. Após a esterilização (120°C/30 min) de produtos alimentícios contendo diferentes gomas, apenas 10% da viscosidade é perdida em produtos que contêm a goma xantana, redução inferior a observada nos produtos que contêm outros hidrocolóides, como a goma guar, alginato e carboximetilcelulose (Urlacher e Dalbe, 1992).

Uma importante propriedade da solução de goma xantana é a interação com galactomananas, tais como gomas locusta e guar. A adição de alguma dessas galactomananas numa solução de goma xantana a temperatura ambiente causa sinergismo, aumentando a viscosidade (Casas e García-Ochoa, 1999; García-Ochoa *et al.*, 2000)

### 2.2.1. A goma xantana na indústria petrolífera

Na indústria petrolífera a goma xantana é o polímero mais utilizado em Recuperação Terciária de Petróleo (EOR), não tendo até o momento nenhum outro substituto em escala comercial que supere suas qualidades. A goma xantana tem sido usada junto com hidróxido de sódio e surfactantes na técnica conhecida como APS (álcali-polímero-surfactante) (Navarrete *et al.*, 2000; Navarrete *et al.*, 2001; Navarrete, 2001).

O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de cana-de-açúcar, com os menores custos de produção. De acordo com o Grupo de Coordenação de Estatísticas Agropecuárias do IBGE, o Brasil produziu em 2005 425.534.061 ton de cana de açúcar. Em média, 55% da cana brasileira é transformada em álcool, e 45% em açúcar (SEAG, 2005). A sacarose e o álcool etílico são importantes como insumos para a produção da goma xantana, como substrato da fermentação e para a separação da goma, respectivamente. O custo do meio de fermentação no Brasil é baixo; entretanto, em outros países, este representa um fator crítico sob o aspecto comercial na produção do polissacarídeo, o que coloca o Brasil, para a produção da goma xantana, numa posição favorável e competitiva frente a países que dominam esta tecnologia (Padilha, 2003).

### 2.2.2. Processo fermentativo para obtenção da goma xantana

Em 1961 surgiu a primeira importante pesquisa publicada sobre a produção de goma xantana. Os laboratórios de pesquisa do Departamento de Agricultura dos EUA descobrem que a bactéria *X. campestris* encontrada em repolho roxo produz um polissacarídeo extracelular com excepcionais propriedades reológicas (Katzbauer, 1998).

A produção de goma xantana usando *X. campestris* tem melhorado nas últimas décadas em função da seleção genética que vem sendo realizada e por melhoramentos no processo experimental (Letisse *et al.*, 2002).

No processo de produção da goma xantana, primeiramente, a cepa microbiana selecionada é preservada para possível estocagem por longo prazo através de métodos que mantenham as propriedades desejadas. Para produzir a goma xantana, culturas de *X. campestris* puras são cultivadas usando fermentação aeróbica submersa. O meio esterilizado composto de carboidratos, uma fonte de nitrogênio e sais minerais é inoculado com cultura selecionada, na escala piloto de fermentação, seguido por incubação a 30°C por três dias em uma escala industrial de fermentação, e por um tratamento térmico para eliminar microrganismos viáveis. A goma xantana é precipitada em solvente, (isopropanol, etanol ou acetona), separada, seca, moída, peneirada, e então embalada. O crescimento dos microrganismos e a produção de goma xantana são influenciados por fatores tais como o tipo de bioreator usado, o modo de operação (batelada ou contínuo), a composição do meio, as condições da cultura (temperatura, pH, concentração de oxigênio dissolvido) (García-Ochoa *et al.*, 2000; Chi e Zhao, 2003).

### 2.2.2.1. Inóculo

Em função da goma xantana constituir uma espécie de cápsula bacteriana, sua produção está associada ao crescimento celular. Durante o período de inoculação, ocorre um aumento da concentração celular, mas diminui a produção de goma xantana, porque a goma ao redor da célula impede o transporte de nutrientes e estende a fase lag de crescimento (Cadmus *et al.*, 1978; De Vuyst *et al.*, 1987; Pons *et al.*, 1989; Pons *et al.*, 1990).

Os microrganismos são transferidos de um meio de cultura sólido complexo (normalmente meio YEAST MALT-YM ágar) para um volume pequeno (5 a 7 mL) de um meio de cultura líquido complexo (normalmente meio YM). A cultura é transferida para 40 - 100 mL de meio contendo sais inorgânicos; fase na qual células vão se adaptar a uma nova condição que deverão encontrar na fase de produção. O volume de inóculo para a produção de goma xantana no fermentador deve ser 5% a 10% do volume total de caldo fermentado (García-Ochoa *et al.*, 2000). Segundo Gupte e Kamat (1997), o volume ideal de inóculo para a produção de goma xantana em fermentador deve ser de 10% do volume total de caldo fermentado.

Gupte e Kamat (1997) testaram várias formulações de meio de crescimento, utilizando como fonte de carbono a sacarose, a glicose, a lactose e o amido, nas concentrações de 5, 10, 20 e 50 g.L<sup>-1</sup>, e para a sacarose ainda foi testada a concentração de 60 g.L<sup>-1</sup>. Quando 50 g.L<sup>-1</sup> de sacarose foram utilizadas como fonte de carbono, foi observada maior síntese de polissacarídeo exocelular, comparada à mesma condição de glicose, lactose e amido. Como fonte de nitrogênio foram testados extrato de levedura, peptona, uréia, glicose de milho, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NH<sub>4</sub>Cl, NaNO<sub>3</sub> e uma composição de extrato de levedura + peptona, nas concentrações de 0,5, 1, 3 e 5 g.L<sup>-1</sup>. As maiores sínteses de polissacarídeo exocelular obtidas foram com a composição extrato de levedura (3 g.L<sup>-1</sup>) + peptona (5 g.L<sup>-1</sup>), com de peptona (5 g.L<sup>-1</sup>) e com extrato de levedura (3 g.L<sup>-1</sup>) com produções de goma xantana de 7,2, 5,0 e 4,9 g.L<sup>-1</sup>, respectivamente.

### 2.2.2.2. Meio nutriente para a produção da goma xantana

Para produzir a goma xantana, a bactéria *X. campestris* precisa de vários nutrientes, macronutrientes, tais como carbono e nitrogênio e micronutrientes (como potássio, ferro, e cálcio). A concentração da fonte de carbono afeta o rendimento de goma xantana, sendo a glicose e a sacarose as fontes de carbono mais freqüentemente utilizadas.

O efeito da concentração de glicose na produção de goma xantana por *X. campestris* ATCC 13951 foi estudada por Funahashi *et al.* (1987). Segundo o estudo concentrações de glicose entre 30 g - 40 g/kg de meio consiste na melhor faixa de concentrações para a produção de goma xantana. A possibilidade da adição intermitente de glicose de forma a manter seu teor no meio entre 30-40 g/kg, preveniu a inibição do crescimento celular e da produção de goma. Através dessa alimentação estratégica de glicose, a concentração de goma xantana atingiu 43 g/kg após 96 horas de fermentação. A concentração ótima inicial de glicose foi considerada pelos autores como a de 40 g glicose/kg de meio.

O nitrogênio é um nutriente essencial, como componente orgânico ou como molécula inorgânica. A razão C/N normalmente utilizada para a produção é menor que aquela usada durante o crescimento (García-Ochoa *et al.*, 2000). Geralmente, baixas concentrações de ambos são úteis para a produção da goma xantana. Resultados similares foram obtidos por Souw e Demain (1979). Segundo autores quando o carbono e o fósforo são nutrientes limitantes, a produção de goma xantana é melhorada. Foi comprovado serem os açúcares (sacarose ou glicose) as melhores fontes de carbono, e o glutamato em uma concentração de 15 mM a melhor fonte de nitrogênio.

A concentração da fonte de carbono afeta a eficiência da conversão em polissacarídeos. É relatado na literatura que concentrações de glicose entre 1 – 5% dão o melhor rendimento, enquanto que em mais altas concentrações de glicose, decresce o rendimento do produto (Papagianni *et al.*, 2001).

O estudo nutricional realizado por García-Ochoa *et al.* (1992) mostrou que nitrogênio, fósforo, e magnésio influenciam o crescimento da bactéria, enquanto nitrogênio, fósforo e enxofre influenciam a produção da goma xantana. A melhor produção foi obtida com a seguinte composição do meio: sacarose (40 g.L<sup>-1</sup>), ácido cítrico (2,1 g.L<sup>-1</sup>), NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> (1,144 g.L<sup>-1</sup>), KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (2,866 g.L<sup>-1</sup>), MgCl<sub>2</sub> (0,507 g.L<sup>-1</sup>), Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,089 g.L<sup>-1</sup>), H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> (0,006 g.L<sup>-1</sup>), ZnO (0,006 g.L<sup>-1</sup>), FeCl<sub>3</sub> · 6H<sub>2</sub>O (0,020 g.L<sup>-1</sup>), CaCO<sub>3</sub> (0,020 g.L<sup>-1</sup>) e HCl (0,13 mL/L), e o pH foi ajustado para 7,0 por adição de NaOH.

Jana e Ghosh (1997) verificaram que a biossíntese de goma xantana por *X. campestris*, sob condições limitadas de oxigênio; a adição acima de 2,6 g de ácido cítrico por litro melhora a viabilidade celular, assim como aumenta o rendimento da goma xantana. Porém, quando não há limitação de oxigênio, a adição de ácido cítrico não melhora a produção de goma xantana.

Borowski *et al.* (2006) utilizaram diferentes meios fermentativos para a produção de goma xantana com e sem ácido cítrico, utilizando *X. campestris* pv. *pruni* em condições limitadas de oxigênio. Os resultados obtidos mostraram que a influência do ácido cítrico na produção da goma depende da cepa, porém a presença do ácido afetou negativamente os resultados de viscosidade.

No meio para a produção de goma xantana, o ácido cítrico é usado como um agente seqüestrante para prevenir a precipitação de sais durante a esterilização (Peters *et al.*, 1993).

Letisse *et al.* (2002) desenvolveram um modelo cinético não estruturado para a produção de goma xantana. O modelo proposto é hábil para descrever o consumo de nitrogênio, o consumo de fosfato inorgânico e de carbono e a evolução da biomassa (considerando os vários estados fisiológicos das células). Segundo o modelo proposto para produção de goma xantana a concentração inicial de fosfato inorgânico demonstrou o efeito positivo da limitação de fosfato no rendimento de goma xantana.

Estudos preliminares têm indicado que fermentações com *X. campestris* em escala industrial utilizando o melaço ou soro de leite bovino como caldo fermentativo podem resultar em goma xantana com peso molecular médio, que pode ser usada para certas aplicações (Kiosseoglou *et al.*, 2003).

Vendruscolo *et al.* (2002) utilizaram resíduo industrial fibroso da proteína de soja como fonte de carbono na produção de goma xantana. Em fermentações com *X. campestris* pv. *campestris* NRR-B-1459, a

fibra influenciou positivamente, elevando a produção do polímero, porém influenciou negativamente sobre a qualidade da goma obtida.

### **2.2.2.3. Condições operacionais de processamento**

Segundo Casas *et al.* (2000) as variáveis, temperatura, velocidade de agitação e concentração inicial de nitrogênio afetam a taxa e o rendimento da produção de goma xantana. Mudanças nessas condições operacionais também influenciam a estrutura molecular conseqüentemente influenciando as propriedades da goma xantana.

Existem diversos trabalhos sobre a influência das condições operacionais na estrutura e peso molecular médio da goma xantana, mas cada autor estuda somente uma variável e assim não existe concordância nas conclusões obtidas. As variáveis estudadas no trabalho de Casas *et al.* (2000) são principalmente aquelas que mostram influência no conteúdo de ácido pirúvico. A influência da temperatura tem sido estudada somente para o grau de piruvação, e todos os autores acreditam que o conteúdo de piruvato máximo é obtido em 27°C (Cadmus *et al.*, 1978; Tako e Nakamura, 1984; Shu e Yang, 1990; Peters *et al.*, 1993).

#### **(a) Efeito da temperatura no crescimento celular e na produção de goma xantana**

Em geral, o processo de fermentação da goma xantana em batelada exibe uma cinética de fermentação metabólica secundária. Durante a fermentação em batelada de glicose por *X. campestris*, duas fases podem ser distinguidas: a tropofase, em que há um rápido crescimento, mas pequena produção de goma xantana, e a idiofase, em que não ocorre crescimento celular, mas onde uma grande quantidade de goma xantana é produzida. As condições ótimas para o crescimento celular e a produção de goma xantana podem não ser as mesmas. A quantidade e a qualidade de goma xantana produzida em uma cultura de batelada variam com a composição do meio e os parâmetros do meio, e com as condições de fermentação (García-Ochoa *et al.*, 2000).

Segundo Casas *et al.* (2000) o crescimento da biomassa e a produção de goma xantana aumentam com a temperatura, rendendo um máximo em 28°C. Como a goma xantana é parcialmente associada ao aparecimento de metabólitos, a produção de goma xantana é baixa quando o crescimento e a concentração de biomassa também estão baixos.

O estudo de Shu e Yang (1990) concluiu que maiores rendimentos de goma xantana podem ser obtidos com fermentações realizadas em temperaturas mais altas. O estudo verificou também que o conteúdo de piruvato na goma xantana varia com a temperatura da fermentação. O conteúdo de piruvato na goma variou de 1,9% a 4,5%, ocorrendo com temperaturas entre 27°C e 30°C. O mecanismo que explica esse comportamento ainda não foi esclarecido.

Segundo Gupte e Kamat (1997) com *X. campestris* ICa-125, as maiores concentrações de exopolissacarídeo extracelular verificaram-se na temperatura de 32°C, porém nesse estudo foram testadas apenas as temperaturas de 25°C, 32°C, 35°C e 38°C, obtendo-se 4,2, 9,0, 8,7 e 3,6 g.L<sup>-1</sup>, respectivamente.

Os experimentos computacionais de Cacik *et al.* (2001) mostram que o tempo ótimo de fermentação para produzir 15 g.L<sup>-1</sup> de goma é 16,3% mais baixo quando a temperatura usual é de 28°C.

### **(b) Efeito do pH no crescimento celular e na produção de goma xantana**

Tanto o pH como a temperatura são importantes fatores ambientais para a concentração celular, e de goma xantana, bem como para o índice de consistência.

Muitos autores concordam que o pH neutro é o melhor para o crescimento do *X. campestris*. Durante a produção da goma xantana, o pH decresce de neutro para valores próximos a 5,0 por causa da formação de grupos ácidos presentes na goma xantana. Alguns autores sugerem que não seja necessário fazer o controle do pH durante o processo, mas outros recomendam manter o pH neutro utilizando para isso KOH, NaOH e NH<sub>4</sub>OH. O estudo do efeito do pH mostra que o controle do pH acentua o crescimento das células, porém não influencia a produção da goma xantana. Quando o pH é controlado, a produção da goma cessa uma vez que a fase de crescimento estacionária seja atingida, e este efeito independe do álcali usado para controlar o pH. Quando o pH não é controlado, a produção da goma continua durante a fase estacionária de crescimento (García-Ochoa *et al.*, 2000).

O efeito da interação entre o pH e a temperatura é de pouca importância para o crescimento celular e parece ter uma influência negativa tanto na produção dos polissacarídeos quanto na viscosidade do caldo.

Para o crescimento do *Xanthomonas campestris*, os melhores intervalos de pH e temperatura são: entre 6,0 a 7,5 e de 25°C a 27°C respectivamente e para a produção da goma xantana e qualidade do polímero os melhores intervalos de pH e temperatura são: entre 7,0 – 8,0 e de 25°C - 30°C (García-Ochoa *et al.*, 2000). Esta diferença de valores mais adequados de pH e temperatura para o crescimento celular e para a produção da goma xantana pode ser uma informação útil a ser incluída em uma estratégia de fermentação em duas etapas e na elaboração de novos ambientes microbianos. Este ponto é particularmente importante no processo de otimização quando é desejável maximizar um dos fatores, mas não o outro.

### **(C) Efeito da taxa de transferência de oxigênio no crescimento celular e na produção de goma xantana**

Limitação de oxigênio foi observada no estudo de Peters *et al.* (1989), quando utilizaram baixas velocidades de agitação para uma fermentação de goma xantana em batelada. Isto resultou em uma taxa de produção específica de goma xantana significativamente menor do que ao obtido em altas velocidades.

Casas *et al.* (2000) observaram dois efeitos com o aumento da velocidade de agitação: aumento na taxa de transferência de massa de oxigênio e também um dano nas células. Em velocidades mais altas (800 rev./min) o crescimento celular e a produção de goma xantana são mais baixos, provavelmente devido ao dano celular por "stress" hidrodinâmico; e em velocidades muito baixas (100 rev./min) também se observou

mais baixo crescimento de biomassa e produção de goma xantana, devido à limitação na transferência de oxigênio. Para esse estudo foi utilizado um bioreator com volume de trabalho de 1,5 L, e ambos, o crescimento de biomassa e produção de goma xantana, alcançaram um máximo quando a velocidade de agitação foi fixada em 500 rev./min. Em velocidades de agitação mais baixas ocorre limitação de oxigênio, e em velocidades de agitação mais altas ocorre "stress" hidrodinâmico, resultando em um decréscimo do peso molecular médio, e também em um decréscimo nos parâmetros reológicos.

Papagianni *et al.* (2001) observaram que o aumento do nível de agitação, resulta em níveis de produção de goma xantana mais altos. Nesse estudo, a produção de goma xantana quase dobrou quando a velocidade de agitação foi aumentada de 100 para 600 rpm, e similar foi o efeito no crescimento celular.

A viscosidade da goma xantana é afetada por fatores tais como o peso molecular da cadeia e o conteúdo de piruvato. O uso de goma xantana com peso molecular médio, como a obtida em laboratório, resulta em géis mais aceitos pelos consumidores comparados àqueles preparados com a goma xantana comercial. Estes géis serão como aqueles preparados com goma xantana de alto peso molecular, porém de baixa elasticidade, coesividade e mastigabilidade e por esse motivo são mais aceitos pelo consumidor (Kiosseoglou *et al.*, 2003).

Pode existir uma dependência do grau de piruvação da goma xantana com a velocidade de agitação (1,54% em 100 rpm e 3,49% em 600 rpm) (Papagianni *et al.*, 2001).

O grau de piruvação pode ter uma importante influência na efetividade de certas aplicações. A aplicação da goma xantana para melhorar a recuperação de óleo pode depender principalmente do grau de piruvação, devido à precipitação da goma xantana ou adsorção no solo (Brandford e Baird, 1983).

Peters *et al.* (1989) demonstram que existe uma forte relação entre a demanda microbiológica de oxigênio e o grau de piruvação. A limitação de oxigênio, nesse estudo, utilizando um sistema em batelada ou contínuo, leva a uma concentração de piruvato mais baixa. A dependência da piruvação com relação ao fornecimento de oxigênio não é inesperada. Por ser um componente altamente oxidado do polímero, aumentando o nível de oxigênio dissolvido em mais altas velocidades de agitação, pode explicar o aumento da quantidade de piruvato obtido no estudo de Papagianni *et al.* (2001).

O peso molecular foi pouco influenciado pela velocidade de agitação (100 – 600 rpm); de acordo com os resultados de HPLC, ficaram em redor de 500 kDa (Papagianni *et al.*, 2001). O peso molecular da goma xantana é crítico para a viscosidade intrínseca e para as propriedades espessantes do polímero.

### **2.2.3. Recuperação da goma**

A recuperação da goma xantana do caldo fermentativo é geralmente difícil e cara. O caldo fermentativo contém, ao final do processo, geralmente 10 a 30 g.L<sup>-1</sup> de goma, 1 a 10 g.L<sup>-1</sup> de células e 3 a 10 g.L<sup>-1</sup> de nutrientes residuais e outros metabólitos (García-Ochoa *et al.*, 1993). Em função da alta concentração de goma xantana, o caldo é altamente viscoso e difícil de manusear. A alta viscosidade

complica a remoção da biomassa do caldo. Para o processamento, o caldo é normalmente diluído em algum estágio do processo (Kennedy e Bradshaw, 1984).

Os principais passos no processo de recuperação da goma são: desativação e remoção (ou lise) das células microbianas, precipitação do biopolímero, lavagem, secagem, moagem e embalagem (García-Ochoa *et al.*, 1993). Após a moagem esse produto pode passar por peneiras para selecionar-se uma pré-determinada granulometria para controlar as taxas de dispersabilidade e dissolução do produto (Smith e Pace, 1982). A embalagem deve ser a prova de água porque a goma xantana é um produto higroscópico e sujeito a degradação hidrolítica. Geralmente, o caldo fermentado é pasteurizado ou esterilizado para matar as células bacterianas (García-Ochoa *et al.*, 1993); esse tratamento térmico acentua a remoção da goma xantana das células.

A pasteurização do caldo fermentado em uma temperatura alta frequentemente causa degradação térmica do exopolissacarídeo microbiano. Quando o caldo é tratado sob condições apropriadas (80 – 130°C, 10 – 20 min, pH 6,3 – 6,9), a dissolução da goma xantana ocorre sem degradação térmica, e o rompimento das células é observado (Smith e Pace, 1982). O aumento da temperatura também diminui a viscosidade do meio, facilitando a remoção dos insolúveis por centrifugação (Giavasis *et al.*, 2000; Moreira *et al.*, 2003; Boza *et al.*, 2004) ou filtração (Giavasis *et al.*, 2000).

A precipitação do polímero é realizada por diminuição da solubilidade do colóide dissolvido, usando-se métodos tais como adição de sais, de solventes miscíveis em água e concentração por evaporação, além da precipitação com solventes orgânicos, tais como o etanol e o isopropanol, o uso de misturas de álcool e sais (Giavasis *et al.*, 2000; Moreira *et al.*, 2003; Boza *et al.*, 2004) e da precipitação com sais trivalentes e tetravalentes (Kennedy e Bradshaw, 1984). Também o uso de ultrafiltração tem sido relatado (Lo *et al.*, 1997). De todas essas técnicas, a que normalmente é mais usada é a de precipitação com álcool, principalmente etanol e isopropanol. O custo para a recuperação do álcool e as perdas inevitáveis contribuem significativamente para o custo total de produção.

Os álcoois (metanol, etanol ou isopropanol), a acetona, podem ser adicionados ao caldo fermentado não só para diminuir a solubilidade do exopolissacarídeo, mas também para lavar impurezas tais como componentes coloridos, sais e células. A quantidade necessária de álcool depende da natureza do reagente (García-Ochoa *et al.*, 2000).

O polissacarídeo pode ser tratado, química, física ou biologicamente durante sua separação visando a obter certas características especiais no produto final. Por exemplo, para aumentar sua dispersabilidade é tratado com dialdeídos; para aumentar sua viscosidade faz-se reagir com formaldeído; e para torná-lo compatível com outros polissacarídeos, como a carboxi metil celulose (CMC), trata-se com celulasas (Lima *et al.*, 2005).

#### 2.2.4. Rendimento e Produtividade na obtenção de goma xantana

Galindo *et al.* (1994), no estudo das cepas E2 (variante espontânea da  $\kappa$ -NRRL-1459) e B-1459 de *X. campestris* pv. *campestris*, obtiveram como resultados de produção de goma xantana 11,2 g.L<sup>-1</sup> e 9,3 g.L<sup>-1</sup>, respectivamente. No trabalho de Nitschke e Thomas (1995) com cepas selvagens de *X. campestris* pv. *campestris*, obteve-se como menor produção 10,6 g.L<sup>-1</sup> para cepa C5 e como maior produção 14,5 g.L<sup>-1</sup> para cepa Cv2C8.

Foresti (2003) determinou a produção de goma xantana (6,4 g.L<sup>-1</sup>) pela cepa padrão NRRL B-1459 de *X. campestris* pv. *campestris*.

García-Ochoa *et al.* (2000) fizeram um apanhado de vários estudos sobre a produção de goma xantana, estudos estes, feitos com diferentes tempos de fermentação e em vários tipos de bioreatores, e os resultados de concentração de goma xantana obtidos variaram de 10,5 g.L<sup>-1</sup> a 30 g.L<sup>-1</sup>.

No trabalho de Gupte e Kamat (1997), o maior rendimento obtido foi 21,3 g.L<sup>-1</sup>, utilizando o *X. campestris* ICa-125.

Em estudos mais recentes utilizando o melão como fonte de carbono em uma fermentação com o *X. campestris* ATCC 1395, encontramos a maior concentração dessa goma já relatada em meio industrial ou laboratorial. O estudo realizado por Kalogiannis *et al.* (2003) relata uma produção de goma xantana de 53 g.L<sup>-1</sup>. Entretanto, Abd el Salam *et al.* (1994) relataram uma produção de goma xantana mais alta (70 g.L<sup>-1</sup>) usando melão de cana de açúcar com uma concentração inicial de açúcar relativamente alta de 25%.

#### 2.2.5. Propriedades reológicas da goma xantana

Soluções de goma xantana obtidas por dissolução em temperatura moderada tendem a ser altamente viscosas. A temperatura de dissolução afeta grandemente a viscosidade por controlar a conformação molecular. A molécula goma xantana parece ter duas conformações, helicoidal e randômica, dependendo da temperatura de dissolução (Horton *et al.*, 1985; García-Ochoa e Casas, 1994; García-Ochoa *et al.*, 2000).

A viscosidade da goma é uma função de sua concentração na dispersão (Nussinovitch, 1997; Pettitt, 1982).

##### 2.2.5.1. Viscosidade e pseudoplasticidade

A viscosidade é a resistência de um líquido ao fluxo causado por atrito interno entre as moléculas. Além de ser uma medida direta da qualidade do fluido em serviço, a viscosidade pode fornecer importantes informações sobre mudanças fundamentais em sua estrutura durante determinado processo (Navarro, 1997). A viscosidade de fluido Newtoniano, como, por exemplo, a água ou o óleo, depende somente da temperatura (e para alguns a pressão), enquanto fluidos não-Newtonianos mostram um comportamento dependente do tempo e/ou taxa de deformação. As soluções de goma xantana são não-Newtonianos e

altamente pseudoplásticos ou seja, a viscosidade diminui com o aumento da taxa de deformação do fluido. A viscosidade das soluções praticamente não se altera com a temperatura entre 4 e 93°C, com pH entre 1 e 13 e com forças iônicas equivalentes a concentrações de cloreto de sódio entre 0,05 e 1% (Bueno e Garcia-Cruz, 2001; Maugeri Filho, 2001).

Essa pseudoplasticidade acentua as qualidades sensoriais, realçando o sabor e diminuindo a sensação de gomosidade percebida na boca (flavour, "mouth feel"). Além disso, em taxas de cisalhamento entre 50 e 200s<sup>-1</sup>, taxa da mastigação, a goma xantana exibe baixa viscosidade, fazendo com que o produto pareça menos viscoso ao paladar e o sabor seja mais bem percebido (Challen, 1994; Katzbauer, 1998).

A sua estrutura ramificada e o alto peso molecular conferem à goma xantana uma alta viscosidade, mesmo em baixas concentrações. A rede tridimensional formada por associações de cadeias de goma xantana tem eficiente estabilidade para suspensões e emulsões (Katzbauer, 1998). Muitas das propriedades reológicas da goma xantana derivam de sua conformação dupla-hélice adotada em solução. A cadeia lateral trissacarídica alinha-se com a cadeia celulósica principal, estabilizando a conformação por interações não-covalentes (Sutherland, 1998).

As propriedades reológicas da solução de goma xantana mudam com a natureza do polímero. O que se sabe é que elas são dependentes do: peso molecular médio e do conteúdo de acetato (Tako e Nakamura, 1984) e piruvato (Peters *et al.*, 1993). Os níveis de ácido pirúvico e substituições de acetal na molécula podem variar com as condições do crescimento (Cadmus *et al.*, 1978), as condições operacionais (Peters *et al.*, 1993) e também a *Xanthomonas* sp usada (Kennedy e Bradshaw, 1984).

A goma xantana é freqüentemente usada em combinação com outros hidrocolóides a fim de se obter o comportamento desejado para o fluido. O sinergismo entre hidrocolóides é de especial interesse comercial, por possibilitarem uma nova funcionalidade, além de possibilitar reduzir as quantidades utilizadas, reduzindo custos (Katzbauer, 1998).

### **2.2.5.2 Aplicações da goma xantana**

A goma xantana tem sido usada em uma extensa variedade de alimentos, por apresentar importantes propriedades, como: espessante de soluções aquosas, agente dispersante, estabilizadora de emulsões e suspensões, estabilizadora da temperatura do meio, propriedades reológicas e pseudoplásticas e compatibilidade com ingredientes alimentícios (Whistler e Bemiller, 1993; Katzbauer, 1998; Kiosseoglou *et al.*, 2003). Quando utilizada em baixas concentrações, gera estabilidade na estocagem, capacidade de resistência à água e apelo estético (Urlacher e Dalbe, 1992; Nussinovitch, 1997).

A goma xantana foi liberada pela FDA (Food and Drug Administration) em 1969, permitindo o uso da goma xantana na produção de alimentos FDA (FAO/WHO, 1990).

O Comitê de Peritos das Organizações das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura/Organização Mundial da Saúde (FAO/WHO, 1990) declarou a aceitabilidade de ingestão diária da goma

xantana (ADI). Além disso, muitos outros países têm aprovado a goma xantana para diversos usos alimentares.

A goma xantana é bastante utilizada como estabilizante para alimentos, como cremes, sucos artificiais, molhos para saladas, carne, frango ou peixe, assim como para xaropes e coberturas para sorvetes e sobremesas. Ainda apresenta compatibilidade com a maioria dos colóides usados em alimentos, incluindo o amido, fato que a torna ideal para a preparação de pães e outros produtos para panificação (Nussinovitch, 1997; Scamparini *et al.*, 2000).

O estudo realizado por Vélez *et al.* (2003) sobre o papel dos hidrocolóides na cremosidade de emulsões óleo em água mostra que a presença de goma xantana em concentrações muito baixas (< 0,075%) aumenta a cremosidade desse tipo de emulsão.

A goma xantana é usada na agricultura em suspensões, como agente estabilizante para herbicidas, pesticidas, fertilizantes e fungicidas (Nussinovitch, 1997).

A alta viscosidade das soluções e a solubilidade em água do biopolímero têm assegurado importantes aplicações para a goma xantana na indústria de petróleo, onde é habitualmente usada em processo de perfurações para recuperação de óleo (García-Ochoa *et al.*, 2000; Navarrete *et al.*, 2000; Navarrete *et al.*, 2001; Navarrete, 2001).

A goma xantana é, assim como muitas gomas (exceto o amido), não digerível em humanos, e serve para baixar o conteúdo calórico de alimentos e melhorar sua passagem através do trato gastrointestinal. O valor calórico da goma xantana é aproximadamente 0,6 kcal/g (Katzbauer, 1998).

### 3. Conclusão

Devido a grande aplicação da goma xantana e ao seu amplo mercado mundial várias pesquisas vêm sendo feitas para otimizar a produção através das condições ótimas de crescimento celular, de produção, de recuperação e de purificação deste polissacarídeo.

Em estudos mais recentes utilizando o melaço de cana de açúcar como fonte de carbono foi obtida a maior concentração dessa goma já relatada em meio industrial ou laboratorial (70 g.L<sup>-1</sup>).

É fundamental para a autonomia e o desenvolvimento econômico do Brasil a implementação científica e industrial desse polissacarídeo, tornando o país independente e competitivo internacionalmente na produção de goma xantana e na extração de petróleo.

### Referências

ABD EL SALAM, M.H.; FADEL, M.A.; MURAD, H.A. 1994. Bioconversion of sugarcane molasse into xanthan gum. *Journal Biotechnology*, **33**:103-106.

- AZEVEDO, S.S.; MICHEREFF, S.J.; MARIANO, R.L.R. 2002. Epidemiologia comparativa da Podridão Negra e da Alternariose do repolho na agreste de Pernambuco. *Fitopatologia Brasileira*, **27**(1):21-23.
- BOROWSKI, J.M.; REDIES, C.R.; MICHELS, R.; BORGES, C.D.; VENDRUSCOLO, C.T. 2006. Xantana sintetizada por cepas de *X. campestris* pv. *pruni* em diferentes meios de produção. In: CIC – Congresso de Iniciação Científica, Pelotas, 2006. *Anais...* Pelotas, UFPEL, 4 p.
- BOZA, Y.; NETO, L.P.; COSTA, F.A.A.; SCAMPARINI, A.R.P. 2004. Exopolysaccharide production by encapsulated *Beijerinckia* culture. *Process Biochemistry*, **39**:1201-1209.
- BRANDFORD, P.A.; BAIRD, J. 1983. Industrial utilization of polysaccharide. In: G.O. ASPINALL (ed.), *The Polysaccharides 2*, New York, Academic Press, vol. 2, p. 411-490.
- BUENO, S.M.; GARCIA-CRUZ, C.H. 2001. The influence of fermentation time and the presence of salts in the rheology of the fermentation broth of a polysaccharide-producing bacteria free of soil. *Journal of Food Engineering*, **50**:41-46.
- CACIK, F.; DONDO, R.G.; MARQUÉS, D. 2001. Optimal control of a batch bioreactor for the production of xanthan gum. *Computers and Chemistry Engineering*, **25**:409-418.
- CADMUS, M.C.; KNUTSON, K.A.; LAGOTA, A.A.; PITTSLEY, J.E.; BURTON, K.A. 1978. Synthetic media for production of quality xanthan gum in 20 liter fermentors. *Biotechnology Bioengineering*, **20**:1003-1014.
- CASAS, J.A.; GARCÍA-OCHOA, F. 1999. Viscosity of solutions of xanthan/locust bean gum mixture. *Journal Science Food Agriculture*, **79**:25-31.
- CASAS, J.A.; SANTOS, V.E.; GARCÍA-OCHOA, F. 2000. Xanthan gum production under several operational conditions: Molecular structure and rheological properties. *Enzyme and Microbial Technology*, **26**:282-291.
- CHALLENGER, I. A. 1994. Xanthan gum: A multifunctional stabilizer for food products. In: K. NISHINARI; E. DOI (eds.), *Food Hydrocolloids: Structure, properties, and functions*. New York, Plenum Press, p. 135-140.
- CHI, Z.; ZHAO, S. 2003. Optimization of medium and cultivation conditions for pullulan production by a new pullulan-producing yeast strain. *Enzyme and Microbial Technology*, **33**:206-211.
- DE VUYST, L.; VAN LOO, J.; VANDAMME, E.J. 1987. Two-step fermentation process for improved xanthan production by *Xanthomonas campestris* NRRL B-1459. *Journal Chemical Biotechnology*, **39**:263-273.
- ESGALHADO, M.E.; CALDEIRA, A.T.; ROSEIRO, J.C.; EMERY, A.N. 2001. Polysaccharide synthesis as a carbon dissipation mechanism in metabolically uncoupled *X. campestris* cells. *Journal of Biotechnology*, **89**:55-63.
- ESGALHADO, M.E.; CALDEIRA, A.T.; ROSEIRO, J.C.; EMERY, A.N. 2002. Sublethal acid stress and uncoupling effects on cell growth and product formation in *X. campestris* cultures. *Biochemical Engineering Journal*, **12**:181-192.
- FAO/WHO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). 1990. Production yearbook 1989. Roma, Codebook, ECON-109(1990).

- FONTANIELLA, B.; RODRÍGUES, C.W.; PIÑÓN, D.; VICENTE, C.; LEGAZ, M.-E. 2002. Identification of xanthans isolated from sugarcane juices obtained from scalded plants infected by *Xanthomonas albilineans*. *Journal of Chromatography B*, **770**:275-81.
- FORESTI, A. P. 2003. *Produção e qualidade reológica da xantana sintetizada por diferentes cepas de Xanthomonas em meios modificados*. Pelotas, RS. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, UFPEL, 61 p.
- FUNAHASHI, H.; TOSHIOMI, Y.; TAGUCHI, H. 1987. Effect of glucose concentration on xanthan gum production by *X. campestris*. *Journal of Fermentation Technology*, **65**(5):603-606.
- GALINDO, E.; SALCEDO, G.; RAMIREZ, M.A. 1994. Preservation of *X. campestris* on agar slopes: Effects on xanthan production. *Microbiology Biotechnology*, **40**:634-637.
- GARCÍA-OCHOA, F.; SANTOS, V.E.; FRITSCH, A.P. 1992. Nutricional study of *X. campestris* in xanthan gum production by factorial design of experiments. *Enzyme Microbiology Technology*, **14**:991-996.
- GARCÍA-OCHOA, F.; CASAS, J.A. 1994. Apparent yield stress in xanthan gum solution at low concentration. *Chemical Engineering Journal*, **53**:41-46.
- GARCÍA-OCHOA, F.; CASAS, J.A.; MOHEDANO, A.F. 1993. Precipitation of xanthan gum. *Sep Science Technology*, **28**:1303-1313.
- GARCÍA-OCHOA, F.; SANTOS, V.E.; CASAS, J.A.; GÓMEZ, E. 2000. Xanthan gum: Production, recovery, and properties. *Biotechnology Advances*, **18**:549-579.
- GIAVASIS, I.; HARVEY, L.M.; McNEIL, B. 2000. Gellan gum. *Critical Reviews Biotechnology*, **20**(3):177-211.
- GUPTA, M.D.; KAMAT, M.Y. 1997. Isolation of wild *Xanthomonas* strains from agricultural produce, their characterization and potential related to polysaccharide production. *Folia Microbiology*, **42**(6):621-628.
- HORTON, D.H.O.; WALASZAK, Z.; WERNAU, W.C. 1985. Structural and biosynthetic studies on xanthan by <sup>13</sup>C-N.M.R. spectroscopy. *Carbohydrate Res*, **141**:340-346.
- HSU, C.H.; LO, Y.M. 2003. Characterization of xanthan gum biosynthesis in a centrifugal, packed-bed reactor using metabolic flux analysis. *Process Biochemistry*, **38**:1617-1625.
- JANA, A.K.; GHOSH, P. 1997. Stimulation of xanthan production by *Xanthomonas campestris* using citric acid. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, **13**:261-264.
- JEANES, A. 1974. Extracellular microbial polysaccharides – New hydrocolloids of interest to the food industry. *Food Technology*, **28**(5):34-38.
- KALOGIANNIS, S.; IAKOVIDOU, G.; LIAKOPOULOU-KYRIAKIDES, M.; KYRIAKIDES, D.A.; SKARACIS, G.N. 2003. Optimization of xanthan gum production by *X. campestris* grown in molasses. *Process Biochemistry*, **39**:249-256.
- KATZBAUER, B. 1998. Properties and applications of xanthan gum. *Polymer Degradation and Stability*, **59**:81-84.

- KATZEN, F.; BECKER, A.; ZORREGUIETA, A.; PÜHLER, A.; IELPI, L. 1996. Promoter análisis of the X. campestris pv. campestris gum operon directing biosynthesis of the xanthan polysaccharide. *Journal of Bacteriology*, **178**(14):4313-4318.
- KENNEDY, J.F.; JONES, P.; BAKER, A. 1982. Factors affecting microbial growth and polyssacharides production during the fermentation of Xantomonas campestris cultures. *Enzyme Microbiology and Technology*, **4**(1):39-43.
- KENNEDY, J.F.; BRADSHAW, I.J. 1984. Production, properties and aplications of xantana. *Progress Ind. Microbiology*, **1**(19):319-371.
- KIOSSEOGLU, A.; PAPALAMPROU, E.; MAKRI, E.; DOXASTAKIS, G.; KIOSSEOGLU, V. 2003. Functionality of médium molecular weight xanthan gum produced by x. campestris atcc1395 in batch culture. *Food Research International*, **36**:425-430.
- LETISSE, F.; CHEVALLEREAU, P.; SIMON, J.-L.; LINDLEY, N. 2002. The influence of metabolic network structures and energy requirements on xanthan gum yields. *Journal of Biotechnology*, **99**:307-317.
- LIMA, U.A.; AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W. 2005. *Biotecnología Industrial: procesos fermentativos e enzimáticos*. São Paulo, Editora Edgard Blucher Ltda., vol. 3, 595 p.
- LO, Y.M.; YANG, S.T.; MIN, D.B. 1997. Ultrafiltration broth:process and economic analices. *Journal Food Engineering*, **31**:219-236.
- MAUGERI FILHO, F. 2001. Produção de Polissacarídeos. In: U.A. LIMA; E. AQUARONE; W. BORZANI; W. SCHMIDELL, *Biotecnologia Industrial: processos fermentativos e enzimáticos*. São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda., vol. 3, p. 125-153.
- MEYER, E.L.; FULLER, G.G.; CLARK, R.C.; KULICKE, W.M. 1993. Investigation of xanthan gum solution behavior under shear-flow using rheoptical techniques. *Macromolecules*, **26**(3):504-511.
- MORAINE, R.A.; ROGOVIN, P. 1973. Kinetics of the xanthan fermentation. *Biotechnology and Bioengineering*, **15**:225-237.
- MOREIRA, A.N.; DEL PINO, F.A.B.; VENDRUSCOLO, C.T. 2003. Estudo da produção de biopolímeros via enzimática através da inativação e lise celular e com células viáveis de Beijerinckia sp 7070. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, **23**(2):300-305.
- NAVARRO, R.F. 1997. *Fundamentos de reologia de polímeros*. 1ª ed., Caxias do Sul, Editora da Universidade de Caxias do Sul, 265 p.
- NAVARRETE, R.C.; SEHEULT, J.M.; COFFEY, M.D. 2001. New Biopolymer for drilling, drill-in, completions, spacer, and coil-tubing fluid, Part II. In: International Symposium on Oilfield Chemistry SPE 64982, Houston, 2001. *Anais...* Houston, p. 1-15.
- NAVARRETE, R.C. 2001. New Biopolymer for coiled tubing applications. In: International Symposium on Oilfield Chemistry SPE 68487, Houston, 2001. *Anais...* Houston, 2001, p. 1-10.

- NAVARRETE, R.C.; SEHEULT, J.M.; COFFEY, M.D. 2000. New Biopolymer for drilling, drill-in, completions, spacer fluids and coiled tubing applications. *In: International Symposium on Oilfield Chemistry IADC/SPE 62790, Houston, 2000. Anais... Houston, 2000, p. 1-17.*
- NCPPB. 2009. *National Collection of Plant Pathogenic Bacteria*. Acessado em: 29/03/2009, disponível em: [www.ncppb.com](http://www.ncppb.com).
- NITSCHKE, M.; THOMAS, R.W.S.P. 1995. Xanthan gum production by wild-type isolates of *X. campestris*. *World Journal of Microbiology e Biotechnology*, **11**:502-504.
- NUSSINOVITCH, A. 1997. *Hydrocolloid application – Gum technology in the food and other industries*. Londres, Blackie Academic e Professional, p. 155-169, 354 p.
- OLIVEIRA, L.H.S.; DIAS, F.G.; DUARTE, I.C.S.; OLIVA-NETO, P.; CRUZ, R.; MOREIRA, A.S.; VENDRUSCOLO, C.T. 2000. Isolamento e caracterização de bactérias produtoras de goma xantana. *Revista Científica Plural*, **1**:115-120.
- PADILHA, F.F. 2003. *Produção de biopolímeros sintetizados por microorganismos*. Campinas, SP. Tese de doutorado. Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, 210 p.
- PAPAGIANNI, M.; PSOMAS, S.K.; BATSILAS, L.; PARAS, S.V.; KYRIAKIDIS, D.A.; LIAKOPOULOU-KYRIAKIDES, M. 2001. Xanthan production by *X. campestris* in batch cultures. *Process Biochemistry*, **37**(1):73-80.
- PETERS, H.U.; HERBST, H.; HESSELINK, P.G.M.; LÜNSDORF, H.; SCHUMPE, A.; DECKWER, W. D. 1989. The influence of agitation rate on xanthan production by *X. campestris*. *Biotechnology Bioengineering*, **34**:1393-1397.
- PETERS H.U.; SUH I.S.; SCHUMPE, A.; DECKWER, W.D. 1993. The pyruvate content of xanthan polysaccharide produced under oxygen limitation. *Biotechnology Letter*, **15**:565-566.
- PETTITT, D. J. 1982. Xanthan gum. *In: M. GLICKSMAN (ed.), Food Hydrocolloids*. Boca Raton, Ed. CRC Press, vol. 1, p. 127-149.
- PONS, A.; DUSSAP, C.G.; GROS, J.B. 1989. Modelling *X. campestris* batch fermentation in a bubble column. *Biotechnology Bioengineering*, **33**:394-405.
- PONS, A.; DUSSAP, C.G.; GROS, J.B. 1990. Xanthan batch fermentations: Compared performance of a bubble column and a stirred tank fermentor. *Bioprocess Engineering*, **5**:107-114.
- RAMÍREZ, M.E.; FUCIKOVSKY, L.; GARCÍA-JIMENEZ, F.; QUINTERO, R.; GALINDO, E. 1988. Xanthan gum production by altered pathogenicity variants of *X. campestris*. *Appl Microbiology Biotechnology*, **29**:5-10.
- ROTTAVA, I. 2005. *Seleção de linhagens de Xanthomonas sp para produção de goma xantana*. Pelotas. Dissertação de Mestrado. Departamento de Ciências Agrárias, URI, 79 p.
- SCAMPARINI, A.R.P.; DRUZIAN, J.I.; MALDONADE, I.; MARIUZZO, D. 2000. New biopolymers produced by nitrogen fixing microorganisms for use in foods. *In: K. NISHINARI (ed.), Hydrocolloids. Part 1:*

- Physical Chemistry and Industrial Application of Gels, Polysaccharides and Proteins*. Osaka, Elsevier Science B.V., p. 169-178.
- SEAG. 2005. *Cana-de-açúcar*. Acessado em: 30/03/2005, disponível em <[http://www.seag.es.gov.br/cana\\_caracterizacao.htm](http://www.seag.es.gov.br/cana_caracterizacao.htm)>
- SHU, C.-H.; YANG, S.-T. 1990. Effects of temperature on cell growth and xanthan production in batch cultures of *Xanthomonas campestris*. *Biotechnology Bioengineering*, **35**:454-468.
- SMITH, J.H.; PACE, G.W. 1982. Recovery of microbial polysaccharides. *Journal Chemical Technology Biotechnology*, **32**:119-129.
- SOUW, P.; DEMAÏN, A.L. 1979. Nutricional studies on xanthan production by *X. campestris* NRRL B-1459. *Applied and Environmental Microbiology*, **37**(6):1186-1192.
- SOUZA, A.S.; VENDRUSCULO, C.T. 1999. Produção e caracterização dos biopolímeros sintetizados por *X. campestris* pv *pruni* CEPAS 24 e 28. *Ciência e Engenharia*, **8**(2):115-123.
- SUTHERLAND, I.W. 1993. Xanthan. In: J.G. SWINGS; E.L. CIVEROLO (eds.), *Xanthomonas*. Londres, Chapman & Hall, p. 363-388.
- SUTHERLAND, I.W. 1998. Novel and established applications of microbial polysaccharides. *Yibtech*, **16**:41-46.
- SUTHERLAND, I.W.; KENNEDY, L. 1996. Polysaccharide lyases from gellan-producing *Sphingomonas* spp. *Microbiology*, **142**:867-872.
- SWINGS, J.G.; VAUTERIN, L.; KERSTERS, K. 1993. The bacterium *Xanthomonas*. In: J.G. SWINGS; E.L. CIVEROLO (eds.), *Xanthomonas*. Londres, Chapman & Hall, p. 121-146.
- TAKO, M.; NAKAMURA, S. 1984. Rheological properties of deacetylated xanthan in aqueous media. *Agricultural Biology Chemical*, **48**:2987-2993.
- URLACHER, B.; DALBE, B. 1992. Xanthan gum. In: A. IMESON (ed.), *Thickening and Gelling Agents for foods*. Londres, Blackie Academic & Professional, p. 206-226.
- VÉLEZ, G.; FERNÁNDEZ, M.A.; MUÑOZ, J.; WILLIAMS, P.A.; ENGLISH, R.J. 2003. Role of hydrocolloids in the creaming of oil in water emulsions. *Agricultural and Food Chemistry*, **51**:265-269.
- VENDRUSCOLO, C.T.; FORESTI, A.P.; MOREIRA, A.S. 2002. Utilização de fibra de soja para redução de custo no processo de obtenção de xantana. In: XVIII Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre, 2002, p. 1074-1077.
- WHISTLER; J.N.; BEMILLER, R.L. 1993. Xanthan, gellan, wellan, e rhamsan. In: KANG, K.S.; PETTIT, D.J., *Industrial gums – Polysaccharides and their derivatives*. New York, Academic Press, p. 342-371.

Submissão: 11/01/2008  
Aceite: 29/08/2008