

PROCESSOS BIOTECNOLÓGICOS SUSTENTÁVEIS PARA OBTENÇÃO DE SUCCINOGLUCANAS

Data de aceite: 03/10/2022

Tieles Carina de Oliveira Delani

Programa de Pós-Graduação em Ciências de Alimentos, Universidade Estadual de Maringá
Maringá-PR, Brasil

Cecilia Valente Rodrigues Truite

Programa de Pós-Graduação em Ciências de Alimentos, Universidade Estadual de Maringá
Maringá-PR, Brasil

Hâmara Milaneze de Souza

Programa de Pós-Graduação em Ciências de Alimentos, Universidade Estadual de Maringá
Maringá-PR, Brasil

Anderson Reginaldo Sampaio

Departamento de Física, Universidade Estadual de Maringá
Maringá-PR, Brasil

Suelen Pereira Ruiz

Programa de Pós-Graduação Aplicada a Agricultura, Unipar
Umuarama-PR, Brasil

Graciette Matioli

Departamento de Farmácia, Universidade Estadual de Maringá
Maringá-PR, Brasil

RESUMO: Succinoglucona é um exopolissacarídeo bacteriano com propriedades tecnológicas promissoras para indústria alimentícia, química e farmacêutica, entretanto, seu uso ainda é restrito devido sua baixa

produtividade. Nesta revisão foi abordado as características das succinogluconas e apresentado um estudo comparativo entre succinogluconas obtidas por quatro diferentes fontes de carbono biossustentáveis: casca de arroz, xarope de tâmara, melaço de cana-de-açúcar e de beterraba, avaliando a capacidade de bioconversão do substrato, a estrutura química da molécula e seu perfil reológico. Dentre os processos tecnológicos biossustentáveis, o emprego da casca de arroz hidrolisada possibilitou a maior produção de 69,0 g/L de succinoglucona. Em relação as propriedades reológicas, o xarope de tâmara favoreceu a produção de uma succinoglucona de alta viscosidade, devido à alta massa molecular e índice de consistência (k). Para todas as succinogluconas analisadas, o FTIR apresentou espectros com bandas típicas e similares as já estudadas, e o RMN possibilitou a identificação dos grupos não sacarídeos como o succinato, acetato e piruvato. Com o resultado deste estudo comparativo é possível alegar que a escolha da fonte de carbono e as condições operacionais do processo fermentativo influenciam nas características finais das succinogluconas, tornando-as ideais ou não para aplicação em processos industriais. Desta forma, encontrar novas fontes de carbono biossustentáveis para produção destas biomoléculas é um desafio. O sucesso no desenvolvimento de um novo método biossustentável pode tornar viável a sua industrialização, por reduzir o custo produtivo e possibilitar a obtenção de novas moléculas com características reológicas mais adequadas. Além disso, a reutilização de resíduos industriais

estimula a síntese verde e impacta positivamente na preservação do meio ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: Succinoglucana, reologia, processos biossustentáveis, preservação do meio ambiente, reaproveitamento de resíduos.

INTRODUÇÃO

O potencial biotecnológico de novas fontes de carbono sustentáveis para produção de exopolissacarídeos bacterianos tem sido investigado nos últimos anos com o objetivo de produzir biomateriais de menor impacto ambiental, maior rendimento e melhor aplicabilidade tecnológica (Pedroso et al., 2019). Estes exopolissacarídeos bacterianos, conhecidos também como gomas, são estruturas químicas complexas e apresentam grande variabilidade estrutural e funcional (Gao et al., 2021), o que possibilita sua aplicação em diversos ramos industriais como alimentício, farmacêutico, cosmético e químico (Halder, Banerjee, & Bandopadhyay, 2017). Suas principais propriedades tecnológicas são: agentes espessantes, emulsificantes e gelificantes (Andhare et al., 2017).

Recentes descobertas das propriedades medicinais dos exopolissacarídeos, em especial da succinoglucana, tornaram estas moléculas ainda mais relevantes. Pesquisas apontam propriedades antioxidante, antitumoral, imunomodulatórias e prebióticas (Angelin & Kavitha, 2020; Moscovici, 2015; Yang et al., 2021; Yildiz & Karatas, 2018). Outras funções também conferem o uso como agente de tratamento para áreas poluídas e estabilizante na síntese verde de nanopartículas metálicas (Halder et al., 2017).

O sucesso da aplicação destes exopolissacarídeos nos processos industriais depende de suas propriedades funcionais e das características reológicas, a qual é influenciada, principalmente, pela composição química da molécula. Estudos do comportamento reológico de exopolissacarídeos demonstraram que a fonte de carbono, a cepa bacteriana e as condições ambientais do processo de fermentação interferem na sua capacidade de formar soluções viscosas, pois originam biomoléculas com diferentes composições estruturais (Kaneda & Onodera, 2009; Kavitake, Delattre, et al., 2019; Simsek, Mert, Campanella, & Reuhs, 2009; Sutherland, 1994).

Comparado ao mercado de produção de gomas de origem vegetal, a produção de exopolissacarídeos de origem microbiana é mais vantajosa, pois sua produção ocorre independente de condições climáticas e não compete com a terras destinadas ao plantio de alimentos (Freitas, Torres, & Reis, 2017). As matérias-primas utilizadas na produção destes exopolissacarídeos são simples, podem ser utilizados produtos de resíduos industriais e, além disso, o espaço necessário para o processo produtivo é relativamente pequeno, proporcionando menor custo e maior viabilidade. Outra vantagem do processo de produção é que as gomas de origem microbiana apresentam maior uniformidade em suas propriedades físico-químicas, devido à especificidade do microrganismo e à possibilidade de um rígido controle dos parâmetros de fermentação, como pH, temperatura, taxa de

aeração, velocidade de agitação, tempo de fermentação e composição do meio de cultura (McKellar, Van Geest, & Cui, 2003; Nwodo, Green, & Okoh, 2012; Schmid, 2018).

Glicose e sacarose são as fontes de carbono comumente usadas para cultivo microbiano e produção de exopolissacarídeos. Considerando que as fontes de carbono representam até 30% dos custos totais dos processos de fermentação, os pesquisadores tem intensificado a busca por substratos mais baratos (Freitas et al., 2017). A utilização de substratos alternativos de baixo custo em processos fermentativos, tais como resíduos agroindustriais, permite a redução dos custos de produção, minimizando problemas ambientais, pois auxilia na destinação desses resíduos. Algumas fontes de carbono alternativas têm sido sugeridas para a produção de exopolissacarídeos, tais como melão de cana-de-açúcar e beterraba, casca de arroz, cacau, soro de leite e resíduos de soja, (Bakhtiyari, Moosavi-Nasab, & Askari, 2015; Canuto, 2006; De M. Diniz, Druzian, & Audibert, 2012; Nitschke, Rodrigues, & Schinatto, 2001; Pedroso et al., 2019; Ruiz et al., 2015; Zhou et al., 2014).

Entretanto, pesquisas que apresentam fontes de carbono alternativas para a produção de succinoglucana ainda são poucas. Até o momento, os estudos que avaliam a produção de succinoglucana buscam inovações produtivas aliadas a engenharia genética na tentativa de encontrar cepas mutantes de alto rendimento (Andhare, Delattre, et al., 2017; Bakhtiyari et al., 2015; Gao et al., 2021; Kavitate, Delattre, et al., 2019) e novas fontes de carbono para processos biossustentáveis (Bakhtiyari et al., 2015; Moosavi-Nasab, Taherian, Bakhtiyari, Farahnaky, & Askari, 2012; Pedroso et al., 2019; Ruiz et al., 2015). Com base neste contexto, esta revisão tem por objetivo fazer um relato sobre exopolissacarídeos e apresentar um estudo comparativo entre succinoglucanas obtidas por quatro diferentes fontes de carbono biossustentáveis, além da avaliação da capacidade de bioconversão do substrato, a estrutura química da molécula e seu perfil reológico.

EXOPOLISSACARÍDEOS

Os polissacarídeos, popularmente chamados de gomas, são substâncias poliméricas com capacidade de formar dispersões com alto grau de viscosidade na presença de um solvente apropriado. Quimicamente, a maioria destas moléculas é carboidrato complexo de alto peso molecular, podendo ser do tipo homopolissacarídeo ou heteropolissacarídeo (Hussain et al., 2017; Nwodo et al., 2012; Schmid, 2018). Até a década de 1950, as gomas utilizadas pela indústria eram produzidas a partir de plantas. Entretanto, devido as adversidades climáticas que podem afetar a produtividade desses compostos, surgiu a necessidade de buscar novas fontes que suprissem esta produção. A partir de então, nasceu uma nova geração desses produtos, os exopolissacarídeos de origem microbiana, produzidos sob condições controladas de fermentação, o que os tornam mais estáveis e sem problemas relacionados às variações climáticas (Costa, Nucci, & Oliveira-Jr, 2014).

Extremamente versáteis, os exopolissacarídeos microbianos fazem parte de uma classe de biopolímeros hidrossolúveis, e suas diversidades químicas e estruturais permitem que sejam aplicados em vários seguimentos industriais como químico, alimentício, farmacêutico, petrolífero, entre outros. Suas principais propriedades tecnológicas são agentes espessantes, estabilizantes, emulsificantes, texturizantes e gelificantes (Canuto, 2006; Nampoothiri, Singhanian, Sabarinath, & Pandey, 2003).

Foram descobertos pelos cientistas do Northern Regional Research Laboratory (NRRL), Peoria, Illinois, Estados Unidos, em meados dos anos 50, os quais procuravam por microrganismos capazes de sintetizar gomas hidrossolúveis de elevada importância comercial. Neste período, os Estados Unidos precisavam complementar ou substituir o mercado de gomas vegetais, uma vez que estas têm sua produção e disponibilidades afetadas por variações sazonais e adversidades climáticas, ficando sua oferta bastante vulnerável (Borges & Vendruscolo, 2008).

Apesar da diversidade de exopolissacarídeos com propriedades físico-químicas industrialmente promissoras já descobertos nas últimas décadas, poucos biopolímeros se tornaram de importância comercial e são autorizados para uso como aditivos em alimentos (Freitas, Alves, & Reis, 2011). A xantana é um dos biopolímeros mais comercializados no mundo, e já é utilizada como aditivo alimentar (Diniz, Druzian, & Audibert, 2012; Donot, Fontana, Baccou, & Schorr-Galindo, 2012). A succinoglucana é um exopolissacarídeo que vem ganhando recentemente importância comercial e interesse científico, pois apresenta características físico-químicas superiores ao da xantana. A Figura 1 apresenta alguns dos exopolissacarídeos de importância comercial e sua função (Freitas et al., 2011, 2017; Rana & Upadhyay, 2020).

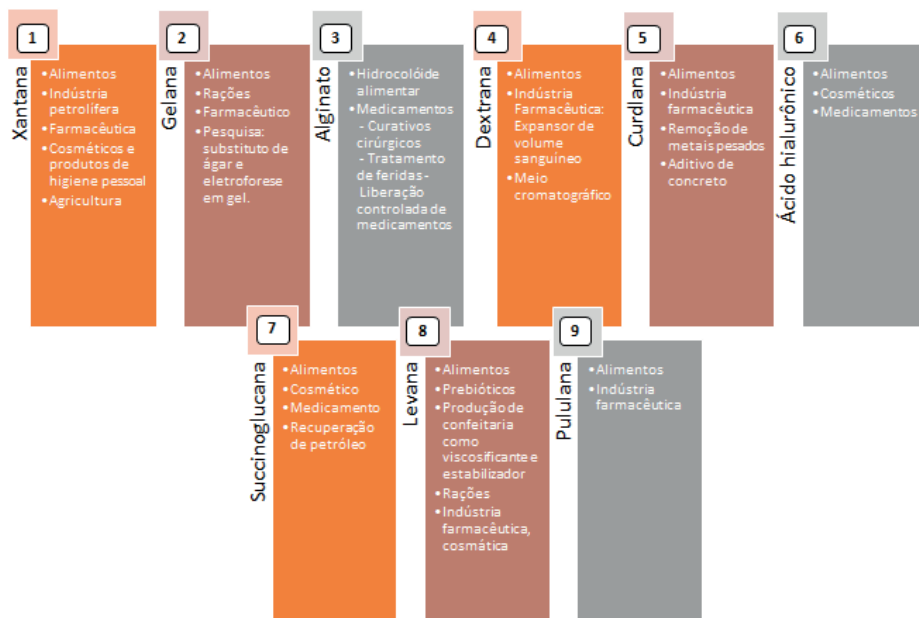


Figura 1: Principais exopolissacarídeos microbianos de importância comercial. Adaptado (Freitas et al., 2011, 2017; Rana & Upadhyay, 2020).

SUCCINOGLUCANA

A succinoglucana é um exopolissacarídeo aniônico ácido, solúvel em água, identificada por Tokuya Harada em 1965. Produzido pela primeira vez por um microrganismo isolado do solo o *Alcaligenes faecalis* var. *myxogenes*, entretanto, outras espécies podem produzir a succinoglucana como *Agrobacterium tumefaciens*, *Agrobacterium radiobacter* ou *Rhizobium radiobacter*, *Rhizobium meliloti*, e algumas espécies de *Pseudomonas spp* (Bakhtiyari et al., 2015; Ruiz et al., 2015; Zevenhuizen, 1997), *Sinorhizobium meliloti* e *Ensifer meliloti* (Halder et al., 2017).

Cepas mutantes com alta capacidade de produção de succinoglucana também tem sido recentemente alvo de pesquisas (Gao et al., 2021). A tabela 1 apresenta as características do processo produtivo de succinoglucanas com diferentes cepas e seu rendimento.

Cepa	Fonte de carbono biossustentável (g)	Rendimento Máximo	Tempo de Produção	Referência
<i>Agrobacterium radiobacter</i> NBRC 12665	Melaço de cana-de-açúcar 7,5%	14,0 g/L	8 dias	(Ruiz et al., 2015)
<i>Agrobacterium radiobacter</i> PTCC 1654	Melaço de beterraba 9,8 °Brix	22,7 g/L	~5 dias	(Bakhtiyari et al., 2015)
<i>Agrobacterium radiobacter</i> PTCC 1654	Xarope de tâmara	~20 g/L	6 dias	(Moosavi-Nasab et al., 2012)
<i>Rhizobium radiobacter</i> ATCC 4720	Casca de arroz hidrolisada	69 g/L	3 dias	(Pedroso et al., 2019) which is an exopolysaccharide. The use of pH 7.0, and 25% RH (w v-1

Tabela 1. Características do processo produtivo de succinoglucanas obtidas por diferentes fontes biossustentáveis.

Acreditava-se, inicialmente, que a succinoglucana era um homopolissacarídeo constituída apenas por resíduos de glicose e ácido succínico, entretanto, mais tarde, identificou-se que sua estrutura química é composta por resíduos de galactose e glicose, unidos por ligações do tipo β numa proporção molar de 1:7, apresentando também alguns substituintes não sacarídeos, tais como, piruvato, succinato e acetato, o que a classifica atualmente como um heteropolissacarídeo (Amemura, Mouri, & Harada, 1974; Halder et al., 2017; Harada, 1965, 1984; Harada & Yoshimura, 1964; Hisamatsu, Abe, Amemura, & Harada, 1980, 1978; Hisamatsu, Sano, Amemura, & Harada, 1978).

Dependendo das espécies microbianas envolvidas na sua produção, as succinoglucanas podem apresentar variações em sua estrutura química, principalmente na proporção de succinato e piruvato e, desta forma, podem apresentar propriedades reológicas diferentes (Nery, Brandão, Esperidião, & Druzian, 2008). Além disso, também ocorre variações no tamanho da cadeia, podendo ser produzidas succinoglucanas de alto peso molecular, maior que 100.000 Da ou baixo peso molecular, menor que 5000 Da (Ruiz et al., 2015).

As succinoglucanas são moléculas atrativas para industriais de alimento, química, farmacêutica e cosmética, pois apresentam boa estabilidade operacional sob diferentes condições, tais como, alta temperatura e pressão, pH extremo e altas taxas de cisalhamento (Simsek et al., 2009). Do ponto de vista industrial, a succinoglucana possui propriedades reológicas similares às da xantana, entretanto, em relação aos processos operacionais da indústria, a succinoglucana é operacionalmente mais estável (Jofré, Liaudat, Medeot, & Becker, 2018).

As propriedades tecnológicas das succinoglucanas que as tornam interessantes para uso nas indústrias em geral são: atividade espessante ou viscosificante, propriedades

de emulsificação, atividade pseudoplastificante, propriedade de ligação cruzada, agente estabilizador de síntese de nanopartículas.

A atividade viscosificante, a qual consiste na alta viscosidade em soluções aquosas, é uma das principais características do succinoglucana. A viscosidade elevada é devido, principalmente, à presença de cerca de 10% de ácido succínico (Halder et al., 2017; Jeong, Kim, Hu, & Jung, 2022).

A succinoglucana também é usada para estabilizar emulsões de óleo em água em pH neutro. Pequenas concentrações de succinoglucana produzem grandes aumentos na estabilidade. Em algumas situações, em que proteínas estão envolvidas no sistema emulsificante, verificou que a adição de Ca^{2+} na presença de succinoglucana melhorou a estabilidade da emulsão, diminuindo a separação de fases (Halder et al., 2017; Jeong et al., 2022).

Na pesquisa realizada por (Kavitake, Marchawala, et al., 2019) as propriedades funcionais emulsificantes da succinoglucana produzida a partir da cepa *R. radiobacter* CAS foram avaliadas. O biopolímero formou eficientemente emulsões com vários óleos de qualidade alimentar sob condições de estresse e foi altamente tolerante a pH extremo, salinidade, concentração de sais inorgânicos e tratamentos térmicos.

Outra propriedade da succinoglucana é a atividade pseudoplastificante. A solução aquosa de succinoglucana é reversivelmente pseudoplástica por natureza sob aquecimento e resfriamento contínuos. Foi observado que a remoção dos grupos succinil melhora a pseudoplasticidade da solução; enquanto a remoção de grupos acetil leva a uma diminuição na natureza pseudoplástica (Halder et al., 2017).

O gel de succinoglucana é capaz de interagir com cátions metálicos polivalentes solúveis em água por meio da propriedade de ligação cruzada. A Pfizer International Corporation é a empresa líder no uso de succinoglucana bacteriana como um agente de reticulação industrial. Além disso, a propriedade de quelação de ferro (II) é relatada no caso de succinoglucana de baixa massa molecular, fator importante para a nodulação das raízes de plantas (Halder et al., 2017).

A succinoglucana também foi estudada como agente estabilizante no processo de síntese de nanopartículas. A succinoglucana de *Sinorhizobium meliloti* foi usado para reduzir a prata e estabilizar as nanopartículas de prata (AgNPs). O processo de redução do metal pode ser induzido pela oxidação do grupo aldeído do açúcar redutor da succinoglucana reduzido a Ag^+ a Ag (AgNPs). Os grupos hidroxila abundantes na succinoglucana podem estimular a formação da matriz complexa ao redor das AgNPs para estabilizá-las mesmo sem a adição de qualquer agente redutor (Jeong et al., 2022).

A succinoglucana está comercialmente disponível sob o nome comercial Rheozan® SH e a empresa Solvay Novecare é o único produtor e fornecedor de succinoglucana bacteriana em todo o mundo. A empresa relatou produção de succinoglucana por fermentação de *Agrobacterium tumefaciens* e purificação por precipitação com isopropanol,

seguida de secagem e moagem (Halder et al., 2017).

MÉTODOS BIOSUSTENTÁVEIS PARA PRODUÇÃO DE SUCCINOGLUCANA

Nos últimos anos a comunidade científica tem buscado alternativas biosustentáveis no desenvolvimento de processos fermentativos ou industriais, com finalidade de impactar positivamente a preservação do meio ambiente (Pedroso et al., 2019). A reutilização de resíduos industriais é uma alternativa viável, diminuindo custos de produção e de descartes ou tratamento de sobras residuais do processamento industrial (Gao et al., 2021).

A succinoglucona é um exopolissacarídeo com grande potencial de aplicação em processos industriais (Halder et al., 2017). Encontrar fontes de carbono de baixo impacto ambiental e custos operacionais reduzidos no processo de produção deste exopolissacarídeo possibilita a obtenção de um produto de baixo custo, melhorando sua disponibilidade comercial (Kavitake, Delattre, et al., 2019; Nitschke et al., 2001).

As fontes biosustentáveis reaproveitáveis de resíduos indústrias utilizadas com sucesso na produção de succinogluconas até o momento descritas na literatura são poucas. Entre elas tem-se o melaço de cana-de-açúcar (Ruiz et al., 2015), melaço de beterraba (Bakhtiyari et al., 2015), xarope de tâmara (Bakhtiyari et al., 2015), casca de arroz hidrolisada (Pedroso et al., 2019).

Dentre as fontes de carbonos citadas, a melhor produção de succinoglucona foi obtida com a casca de arroz hidrolisada (69,0 g/L) em 72 horas. Nesta pesquisa Pedroso e colaboradores (2019) obtiveram 16,1 g/L de monossacarídeos fermentáveis da celulose e hemicelulose a partir da casca de arroz, um resíduo agroindustrial, possibilitando sua utilização como fonte de carbono para síntese de succinoglucona. O processo de fermentação foi otimizado utilizando pH neutro, agitação orbital de 100 rpm, temperatura de 30 °C, e meio de produção composto por hidrolisado de casca de arroz 16,1 g/L, fosfato de potássio monobásico 0,5 g/L e extrato de levedura 9,0 g/L. Entretanto, apesar de um alto rendimento, a succinoglucona apresentou baixo peso molecular e, conseqüentemente, uma capacidade viscosificante baixa. Portanto, muitos processos fermentativos têm apresentado uma produtividade interessante, porém o produto obtido tem baixa aplicabilidade.

Em segundo lugar, a melhor produção, foi obtida com uso de melaço de beterraba, com 22,7 g/L de succinoglucona produzida em 5 dias. Neste estudo, Bakhtiyari e colaboradores (2015), utilizaram o melaço de beterraba como fonte de carbono por apresentar de 47-48% de açúcar em composição. Neste processo de fermentação a concentração de açúcar utilizada foi de 10 °Brix, pH neutro, 120 horas de incubação à 28 °C, com taxa de agitação progressiva de 200-300 rpm. O meio de fermentação contendo melaço apresentou uma produção duas vezes maior em comparação com o meio contendo sacarose (10,3 g/L). Além disso, os autores evidenciaram que a succinoglucona produzida a partir da sacarose apresentou menor grau de succinilação e acetilação do que a produzida a partir do melaço

de beterraba e, desta forma, o comportamento reológico dos exopolissacarídeos foram diferentes. A viscosidade da succinoglucana de melão de beterraba foi maior do que da sacarose. Este resultado corrobora com o estudo de McKellar e colaboradores (2003) que descreveram a influência da composição do meio de cultura no comportamento reológico do exopolissacarídeo.

Na pesquisa conduzida por Moosavi-Nasab e colaboradores (2012), a utilização do xarope de tâmara como fonte de carbono renovável para obtenção de succinoglucana possibilitou uma produção de 20 g/L em 6 dias. A fruta foi escolhida como fonte de carbono porque é rica em carboidratos e outros componentes nutricionais importantes para o desenvolvimento dos microrganismos. As condições do estudo foram: xarope de tâmara (10 °Brix), KH_2PO_4 , (1 g/L); MgSO_4 (0,25 g/L); $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ (1 g/L); solução de oligoelementos (10 mL) em pH 7,0 a 28 °C. A succinoglucana produzida foi caracterizada por FTIR (Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier) e a análise reológica demonstrou que a viscosidade e a pseudoplasticidade foi proporcional ao aumento das concentrações da solução. A succinoglucana obtida mostrou-se adequada para aplicação em processos industriais, considerado agente espessante e construtor de viscosidade em alimentos.

No estudo de Ruiz e colaboradores (2015), o melão de cana-de-açúcar foi utilizado como fonte de energia para produção de succinoglucana. O melão da cana-de-açúcar é um resíduo industrial vantajoso e pode ser usado como fonte de carbono devido ao seu alto teor de açúcar fermentável (48-60%). O meio de produção foi composto por fonte de carbono (2,5%- 7,5%), KH_2PO_4 (1 g/L), MgSO_4 (0,25 g/L), $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ (1 g/L), e 10 mL de solução de oligoelementos, em pH 7,0. O melhor resultado nesta pesquisa foi obtido utilizando 7,5% de melão de cana-de-açúcar, com produção de 14,0 g/L de succinoglucana. A succinoglucana produzida foi caracterizada por FTIR e a massa molar média foi de $2,326 \times 10^6$ g/mol. Os dados da reologia demonstraram que a succinoglucana obtida com melão de cana-de-açúcar exibiu comportamento pseudoplástico e a viscosidade aumentou proporcionalmente com o aumento da concentração da succinoglucana em solução.

O uso destas fontes alternativas de carbono demonstrou produção maior de succinoglucana em comparação as fontes convencionais, como a sacarose. A produção de succinoglucana a partir de xarope de tâmara foi duas vezes maior do que a sacarose após seis dias, com melão de cana-de-açúcar a produção também foi maior em todas as concentrações testadas (2,5%, 5,0% e 7,5%) em relação a sacarose (Moosavi-Nasab et al., 2012; Ruiz et al., 2015).

Desta forma, o resultado destas quatro pesquisas demonstra a influência da escolha do substrato como fator relevante na capacidade de bioconversão pelo microrganismo. É importante ressaltar que, de acordo com a cepa bacteriana e disponibilidade de nutrientes, a bactéria apresenta tempo de produção e capacidade produtiva diferente. Além disso, a escolha do substrato fermentativo impacta diretamente nas características reológicas

e estruturais da succinoglucana e, conseqüentemente, na aplicabilidade industrial desta biomolécula. Portanto, apesar das diferenças, observa-se que as fontes de carbono reaproveitáveis são alternativas viáveis no desenvolvimento de bioprocessos e impactam positivamente na preservação do meio ambiente, estimulando a síntese verde nos processos industriais.

ANÁLISE ESTRUTURAL DAS SUCCINOGLUCANAS PRODUZIDAS PELOS PROCESSOS BIOCUSTENTÁVEIS

A elucidação estrutural da succinoglucana é realizada principalmente por técnicas de FTIR (Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier) e RMN (Ressonância Magnética Nuclear) (Halder et al., 2017). Nos trabalhos analisados foi possível verificar, por meio da análise de FTIR das succinoglucanas obtidas por diferentes fontes de carbono, um padrão de sinais na identificação deste exopolissacarídeo. As bandas espectrais (sinais de alta, moderada e baixa intensidade) estão presentes nas faixas aproximadas de 3400 cm^{-1} , 2900 cm^{-1} , 1640 cm^{-1} , 1100 cm^{-1} e 630 cm^{-1} para a succinoglucana (tabela 2) (Moosavi-Nasab et al., 2012).

Número de onda (cm^{-1})	Atribuição de banda
~3400-3600	Alongamento dos grupos -OH
~2900	Alongamento -CH dos grupos CH ₂ e CH ₃
~1640	COO- alongamento assimétrico de grupos carboxílicos
~1400	COO- alongamento simétrico de grupos carboxílicos Isso é possivelmente devido à tendência de flexão de simetria dos grupos CH ₃ dentro dos substituintes acetato e piruvato.
~1100	Vibração de alongamento C-C ou C-O

Tabela 2. Regiões de absorção FTIR e atribuições as bandas espectrométricas de succinoglucana.

As quatro succinoglucanas obtidas apresentaram espectros semelhantes, confirmando a natureza estrutural da molécula. As bandas espectrométricas típicas encontradas nestes estudos para as succinoglucanas também foram evidenciadas por outros autores (Andhare, Delattre, et al., 2017; Evans, Linker, & Impallomeni, 2000; Gao et al., 2021; Halder et al., 2017).

A espectroscopia de ressonância magnética nuclear de prótons (RMN) também possibilitou a caracterização estrutural das succinoglucanas obtidas por casca de arroz e melaço de beterraba. As duas moléculas apresentaram os substituintes não sacarídeos em proporções diferentes. Para o melaço de beterraba, a molécula apresentou uma razão molar dos substituintes não sacarídeos de 1,38:2,37:~1,70 para piruvato, acetato e succinato.

A caracterização dos substituintes não sacarídeos é importante, pois à presença de grupos carregados como piruvato, acetato ou succinato interferem nas propriedades

viscoelásticas das succinoglucanas, além disso, a presença do grupo succinato tem uma influência positiva maior na capacidade viscosificante da succinoglucana de acordo com Simsek e colaboradores (2009). Já para a succinoglucana obtida por meio da fermentação da casca de arroz, a molécula apresentou uma razão molar dos substituintes de 0,51:1,0:2,84, para succinato, acetato e piruvato. Também Simsek e colaboradores (2009) descreveram que, de fato, diferentes cepas bacterianas (por exemplo, *S. meliloti* e *R. radiobacter*) e diferentes meios de cultivo levam a uma substituição de quantidades diferentes grupos não sacarídeos, principalmente como succinato e piruvato.

CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS DAS SUCCINOGLUCANAS

A avaliação do comportamento reológico das succinoglucanas permite prever se estas moléculas serão capazes de oferecer viscosidade ou apresentar propriedades gelificantes adequadas. Demonstra, também, a estabilidade da molécula frente aos processos industriais, à presença de íons ou à outras substâncias químicas e armazenamento (Zhou et al., 2014).

As características reológicas das biomoléculas em solução aquosa são avaliadas pelos parâmetros índice de comportamento de fluxo (n) e índice de consistência (k). Estes valores são obtidos em função da concentração e taxa de cisalhamento do exopolissacarídeo (Schramm, 2006). As succinoglucanas estudadas até o momento apresentam um padrão de características reológicas, tais como, fluido não newtoniano e comportamento pseudoplástico (Halder et al., 2017).

Os parâmetros reológicos das succinoglucanas obtidas com as fontes alternativas é demonstrado na tabela 3.

Fontes de Carbono	Concentração	Índice de fluxo (n)	Índice de consistência (k)	Comportamento reológico	Referencias
Melaço de cana-de-açúcar	2,0%	0,43	0,70 PA	Pseudoplástico Não newtoniano	(Ruiz et al., 2015)
Melaço de beterraba	2,0%	0,18	7,06 PA	Pseudoplástico Não newtoniano	(Bakhtiyari et al., 2015)
Xarope de tâmara	2,0 %	0,29	3444,0 PA	Pseudoplástico Não newtoniano	(Moosavi-Nasab et al., 2012)
Casca de arroz hidrolisada	-	-	-	Pseudoplástico Não newtoniano	(Pedroso et al., 2019)

Tabela 3. Parâmetros reológicos (índice de fluxo e consistência) de succinoglucanas obtidas por fontes de carbono biossustentáveis.

O índice de comportamento de fluxo (n) é um parâmetro que avalia se um líquido que apresenta certa viscosidade tem comportamento newtoniano ou não-newtoniano. Nos

líquidos com comportamento newtoniano sua viscosidade não é afetada por mudanças na taxa de cisalhamento, como exemplos temos a água, óleo mineral, entre outros. Para estes fluidos ideais, o índice de comportamento de fluxo fica próximo ou igual a 1,0. Líquidos não-newtonianos sofrem alteração na sua viscosidade em função da taxa de cisalhamento, ou seja, a viscosidade diminui com o aumento da taxa de cisalhamento. Quanto mais o índice se afasta de 1,0, mais este fluido irá apresentar características não-newtonianas (Schramm, 2006). Já o índice de consistência (k) é um parâmetro que avalia a capacidade espessante da amostra analisada em função de uma determinada força, e é proporcional a concentração da amostra (Bakhtiyari et al., 2015; Ruiz et al., 2015).

A avaliação do índice de fluxo auxilia na classificação do fluido. Os fluidos não-newtonianos apresentam uma viscosidade aparente ou pseudoplástica, e este fenômeno também é conhecido como tixotropia. A pseudoplasticidade é uma propriedade exibida por alguns materiais nos quais a viscosidade diminui com o aumento da tensão de cisalhamento. Ao interromper a força que causa a tensão de cisalhamento, o material em repouso tende a voltar a sua viscosidade inicial. Esta capacidade reológica de mudar sua viscosidade em função de uma determinada pressão ao qual é submetido é vantajoso, principalmente em questões de escoamento de fluidos nas indústrias, pois com aumento da força aplicada o líquido diminui sua viscosidade, fluindo com maior facilidade pelos equipamentos, facilitando, por exemplo, as etapas de envase (Andhare, Goswami, et al., 2017; Castellane, Lemos, & Lemos, 2014; Zhou et al., 2014).

O fenômeno da pseudoplasticidade é uma característica exibida pela succinoglucana e foi uma das primeiras propriedades exploradas, pois contribui aumentando a estabilidade do polímero, mesmo sob condições operacionais drásticas, tais como alta temperatura e pressão, alta concentração salina, valores extremos de pH ou altas taxas de cisalhamento, o que a tornou adequada para uma das suas principais utilização: a extração e recuperação do petróleo (Nwodo et al., 2012; Souza & Garcia-Cruz, 2004).

As soluções aquosas de succinoglucana apresentam comportamento não-newtoniano com diminuição da viscosidade aparente consequente ao aumento da taxa de cisalhamento sob uma faixa de temperatura de 25 a 55 °C. Aumentando as concentrações da solução, a viscosidade e a pseudoplasticidade aumentam proporcionalmente; enquanto que, o aumento da temperatura diminui a viscosidade e pseudoplasticidade (Halder et al., 2017), ou seja, sua capacidade pseudoplástica e sua viscosidade aparente dependente da concentração, das taxas de cisalhamento da amostra e da temperatura (Andhare, Goswami, et al., 2017; Castellane et al., 2014; Ruiz et al., 2015; Zhou et al., 2014).

É importante ressaltar que as propriedades reológicas são diretamente afetadas pelo tamanho da cadeia carbônica da succinoglucana e pela presença dos substituintes não sacarídeos, e estas características definem a aplicabilidade em um alimento (Simsek et al., 2009).

As succinoglucanas, de acordo com a fonte de carbono utilizada (tabela 3),

apresentaram comportamentos reológicos diferentes. O maior índice de consistência (k) foi o apresentado pela succinoglucana obtida pelo xarope de tâmara. Comparando as diferentes succinoglucanas, pode-se sugerir que o tipo de fonte de carbono interfere no tamanho da molécula produzida e, conseqüentemente, na aplicabilidade destas moléculas.

O alto grau de viscosidade da succinoglucana obtida pelo xarope de tâmara deve-se, provavelmente, a uma molécula de grande massa molecular. Já a succinoglucana obtida pela fonte de casca de arroz hidrolisada apresentou uma cadeia molecular pequena, classificada por Pedroso et al. (2019) como um oligossacarídeo e, conseqüentemente, não teve capacidade de formar gel ou aumentar viscosidade da solução. Embora o método ter alta capacidade de produção (69,0 g/L), a succinoglucana produzida não foi funcional. O sucesso no desenvolvimento de novos processos biotecnológicos para obtenção de exopolissacarídeos dependem tanto da capacidade produtiva, bem como da aplicabilidade da molécula produzida. As succinoglucanas obtidas pelo melão de beterraba e de cana-de-açúcar apresentaram viscosidades menores, entretanto a massa molecular da succinoglucana obtida pelo melão de cana-de-açúcar foi superior ao da obtida pela casca de arroz hidrolisada (tabela 4).

Fontes de Carbono	Massa molecular	Referencias
Melão de cana-de-açúcar	2,326 × 10 ⁶ g/mol	(Ruiz et al., 2015)
Melão de beterraba	Não demonstrado	(Bakhtiyari et al., 2015)
Xarope de tâmara	Não demonstrado	(Moosavi-Nasab et al., 2012)
Casca de arroz hidrolisada	1368 g/mol	(Pedroso et al., 2019) which is an exopolysaccharide. The use of pH 7.0, and 25% RH (w v-1)

Tabela 4. Massa molecular das succinoglucanas obtidas por diferentes fontes

Além do tamanho da molécula influenciar no comportamento reológico, deve ser considerado também a presença de substituintes não sacarídeos como acetato, piruvato e succinato, que provocarão alterações conformacionais na molécula (Zhou et al., 2014).

Geralmente a viscosidade de uma solução é resultado das forças intermoleculares e das interações água-soluto que restringem o movimento molecular. O aumento da viscosidade com o aumento da concentração é devido ao maior teor de sólidos solúveis totais resultante, principalmente da limitação do movimento molecular (Bakhtiyari et al., 2015).

Para formar uma rede tridimensional com aprisionamento das moléculas de água, deve ocorrer interações intermoleculares das succinoglucanas dispersas. Os pontos de interações químicas podem ocorrer por meio dos substituintes não sacarídeos e dos grupos funcionais hidroxilas do polissacarídeo. Desta forma, as interações intermoleculares são

afetadas diretamente pela temperatura, taxas de cisalhamento e pH da solução (Moosavi-Nasab et al., 2012).

A temperatura afeta a viscosidade ao diminuir as forças de interações químicas entre as moléculas do polímero em solução, ou seja, interações se tornam mais fracas em temperaturas mais altas. À medida que a temperatura aumenta, a energia térmica das moléculas também aumenta e, conseqüentemente, as distâncias intermoleculares, como resultado da expansão térmica a viscosidade diminui (Moosavi-Nasab et al., 2012).

A diminuição da viscosidade com o aumento da taxa cisalhamento é resultado de um efeito de orientação. A alta viscosidade em baixa taxa de cisalhamento está relacionada a pequenas forças hidrodinâmicas que são incapazes de reorientar as moléculas. Com o aumento da taxa de cisalhamento, as forças hidrodinâmicas irão dominar e as moléculas se alinharão resultando na redução da viscosidade (Genovese & Lozano, 2006; Taherian, Fustier, & Ramaswamy, 2007). A capacidade de a solução diminuir a viscosidade com o aumento da taxa de cisalhamento é uma propriedade importante, porque significa que embora a viscosidade seja alta, a solução irá fluir facilmente quando despejada de um recipiente (Zhou et al., 2014). Outra característica relevante sobre a medição da viscosidade em baixa taxa de cisalhamento é que este resultado permite a apreciação da consistência do produto ao paladar, e o aprimoramento da consistência tem um papel importante na melhoria da aceitabilidade (Azarikia & Abbasi, 2010).

Outra forma de evidenciar que as interações intermoleculares entre os substituintes não sacarídeos e a estrutura dos carboidratos influenciam na formação de soluções viscosas, é por meio das análises reológicas em função do pH. No trabalho realizado por Moosavi-Nasab et al. (2012) com xarope de tâmara, os pesquisadores observaram que com o aumento do pH da solução, de 2,5 para 7, a pseudoplasticidade e o coeficiente de consistência da succinoglucana aumentaram. Mudanças nas faixas de pH possibilitam alterações eletrônicas na estrutura química da molécula de succinoglucana. Quando a molécula fica levemente carregada com cargas negativas, alguns pontos de repulsão eletrostática pelos grupos funcionais permitem que a molécula assuma uma forma mais estendida e produzam soluções mais viscosas. Em faixas de pH onde o grau de ionização diminui, as cadeias não ficam totalmente estendidas e o índice de consistência diminui (Moosavi-Nasab et al., 2012).

CONCLUSÃO

Com esta revisão, demonstrou-se que, os exopolissacarídeos e em especial as succinoglucanas são moléculas com alto potencial tecnológico de aplicação industrial e médica. E, que a característica apresentada pela molécula de succinoglucana que melhor define o seu potencial, é a sua alta viscosidade em solução aquosa associada à sua propriedade pseudoplástica, a qual faz com que a succinoglucana seja estável frente

aos diversos processos industriais. Entretanto, encontrar métodos fermentativos que atendam essa demanda é um desafio, pois a síntese da molécula de succinoglucana é influenciada pelo tipo de substrato e cepa bacteriana utilizada na fermentação. Além disso, outro desafio também é aliar ao processo fermentativo o reaproveitamento de resíduos agroindustriais que promovam o desenvolvimento de metodologias biossustentáveis e possibilitem a produção de succinoglucanas de baixo custo por utilizar fontes baratas e que também impactam positivamente no meio ambiente. Portanto, por meio da análise comparativa dos estudos apresentados utilizando quatro diferentes fontes carbono, o uso do xarope de tâmara possibilitou o desenvolvimento de uma metodologia com produção de aproximadamente 22,0 g/L de succinoglucana de alta viscosidade e com potencial adequado para aplicação em processos industriais. Este resultado comparativo permite concluir que, o êxito no desenvolvimento de um método de produção de exopolissacarídeos depende não somente da quantidade produzida, mas também da efetiva capacidade tecnológica da molécula, devendo existir um equilíbrio entre estes parâmetros. O tamanho da molécula e a presença dos substituintes não sacarídeos influenciam na viscosidade da molécula das succinoglucanas, e o tipo de fonte de carbono utilizada na bioconversão afeta diretamente a estrutura química das mesmas.

REFERÊNCIAS

Amemura, A., Moori, K., & Harada, T. (1974). Purification and properties of a specific, inducible beta-glucanase, succinoglucan depolymerase from flavobacterium. *Biochimica et Biophysica Acta*, 334, 398–409.

Andhare, P., Delattre, C., Pierre, G., Michaud, P., & Pathak, H. (2017). Characterization and rheological behaviour analysis of the succinoglycan produced by *Rhizobium radiobacter* strain CAS from curd sample. *Food Hydrocolloids*, 64, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.10.008>

Andhare, P., Goswami, D., Delattre, C., Pierre, G., Michaud, P., & Pathak, H. (2017). Edifying the strategy for the finest extraction of succinoglycan from *Rhizobium radiobacter* strain CAS. *Applied Biological Chemistry*, 60(3), 339–348. <https://doi.org/10.1007/s13765-017-0286-8>

Angelin, J., & Kavitha, M. (2020, November 1). Exopolysaccharides from probiotic bacteria and their health potential. *International Journal of Biological Macromolecules*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.06.190>

Azarikia, F., & Abbasi, S. (2010). On the stabilization mechanism of Doogh (Iranian yoghurt drink) by gum tragacanth. *Food Hydrocolloids*, 24(4), 358–363. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.11.001>

Bakhtiyari, M., Moosavi-Nasab, M., & Askari, H. (2015). Optimization of succinoglycan hydrocolloid production by agrobacterium radiobacter grown in sugar beet molasses and investigation of its physicochemical characteristics. *Food Hydrocolloids*, 45, 18–29. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.11.002>

Borges, C., & Vendruscolo, C. (2008). Goma Xantana: características e condições operacionais de produção. *Semina: Ciências Biológicas e Da Saúde*, 29(2), 171–188.

- Canuto, A. P. (2006). Desenvolvimento de bioprocesso para produção de goma xantana por fermentação no estado sólido a partir de resíduos e subprodutos agroindustriais. *Dissertação*, 1–105.
- Castellane, T. C. L., Lemos, M. V. F., & Lemos, E. G. D. M. (2014). Evaluation of the biotechnological potential of *Rhizobium tropici* strains for exopolysaccharide production. *Carbohydrate Polymers*, *111*, 191–197. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.04.066>
- Costa, M. R. M. F. da, Nucci, E. R., & Oliveira-Jr, E. N. (2014). Produção de goma xantana a partir de soro de leite. *XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química*, 1–8.
- De M. Diniz, D., Druzian, J. I., & Audibert, S. (2012). Produção de goma xantana por cepas nativas de *Xanthomonas campestris* a partir de casca de cacau ou soro de leite. *Polimeros*, *22*(3), 278–281. <https://doi.org/10.1590/S0104-14282012005000032>
- Diniz, D. de M., Druzian, J. I., & Audibert, S. (2012). Produção de goma xantana por cepas nativas de *Xanthomonas campestris* a partir de casca de cacau ou soro de leite. *Polimeros*, *22*(3), 278–281. <https://doi.org/10.1590/S0104-14282012005000032>
- Donot, F., Fontana, A., Baccou, J. C., & Schorr-Galindo, S. (2012). Microbial exopolysaccharides: Main examples of synthesis, excretion, genetics and extraction. *Carbohydrate Polymers*, *87*(2), 951–962. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.08.083>
- Evans, L. R., Linker, A., & Impallomeni, G. (2000). Structure of succinoglycan from an infectious strain of *Agrobacterium radiobacter*. *International Journal of Biological Macromolecules*, *27*(5), 319–326. [https://doi.org/10.1016/S0141-8130\(00\)00131-8](https://doi.org/10.1016/S0141-8130(00)00131-8)
- Freitas, F., Alves, V. D., & Reis, M. A. M. (2011). Advances in bacterial exopolysaccharides: From production to biotechnological applications. *Trends in Biotechnology*, *29*(8), 388–398. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2011.03.008>
- Freitas, F., Torres, C. A. V., & Reis, M. A. M. (2017). Engineering aspects of microbial exopolysaccharide production. *Bioresource Technology*, *245*(PartB), 1674–1683. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2017.05.092>
- Gao, H., Yang, L., Tian, J., Huang, L., Huang, D., Zhang, W., ... Jiang, D. (2021). Characterization and rheological properties analysis of the succinoglycan produced by a high-yield mutant of *Rhizobium radiobacter* ATCC 19358. *International Journal of Biological Macromolecules*, *166*, 61–70. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2020.10.087>
- Genovese, D. B., & Lozano, J. E. (2006). Contribution of colloidal forces to the viscosity and stability of cloudy apple juice. *Food Hydrocolloids*, *20*(6), 767–773. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2005.07.003>
- Halder, U., Banerjee, A., & Bandopadhyay, R. (2017). Structural and Functional Properties, Biosynthesis, and Patenting Trends of Bacterial Succinoglycan: A Review. *Indian Journal of Microbiology*, *57*(3), 278–284. <https://doi.org/10.1007/s12088-017-0655-3>
- Harada, T. (1965). Succinoglucan 10C3: A new acidic polysaccharide of *Alcaligenes faecalis* var. *myxogenes*. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, *112*(1), 65–69. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(65\)90010-X](https://doi.org/10.1016/0003-9861(65)90010-X)
- Harada, T. (1984). Progress in industrial microbiology. *Trends in Biotechnology*, *2*(4), 111–112.

- Harada, T., & Yoshimura, T. (1964). Production of a new acidic polysaccharide containing succinic acid by a soil bacterium. *BBA - Specialized Section on Mucoproteins and Mucopolysaccharides*, 83(3), 374–376. [https://doi.org/10.1016/0926-6526\(64\)90023-0](https://doi.org/10.1016/0926-6526(64)90023-0)
- Hisamatsu, M., Abe, J., Amemura, A., & Harada, T. (1978). Formation of an oligosaccharide, the repeating unit of succinoglycan, by *Alcaligenes faecalis* var. *myxogènes*. *Carbohydrate Research*, 66(1), 289–294. [https://doi.org/10.1016/S0008-6215\(00\)83259-0](https://doi.org/10.1016/S0008-6215(00)83259-0)
- Hisamatsu, M., Abe, J., Amemura, A., & Harada, T. (1980). Structural elucidation on succinoglycan and related polysaccharides from *Agrobacterium* and *Rhizobium* by fragmentation with two special beta-d-glycanases and methylation analysis. *Agric. Biol. Chem.*, 44(5), 1049–1055.
- Hisamatsu, M., Sano, K., Amemura, A., & Harada, T. (1978). Acidic polysaccharides containing succinic acid in various strains of *Agrobacterium*. *Carbohydrate Research*, 61, 89–96.
- Hussain, A., Zia, K. M., Tabasum, S., Noreen, A., Ali, M., Iqbal, R., & Zuber, M. (2017). Blends and composites of exopolysaccharides; properties and applications: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 94, 10–27. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.09.104>
- Jeong, J. P., Kim, Y., Hu, Y., & Jung, S. (2022). Bacterial Succinoglycans: Structure, Physical Properties, and Applications. *Polymers*, 14(2), 1–21. <https://doi.org/10.3390/polym14020276>
- Jofré, E., Liaudat, J. P., Medeot, D., & Becker, A. (2018). Monitoring succinoglycan production in single *Sinorhizobium meliloti* cells by Calcofluor white M2R staining and time-lapse microscopy. *Carbohydrate Polymers*, 181(November), 918–922. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.11.059>
- Kaneda, I., & Onodera, Y. (2009). Consistency change of succinoglycan aqueous sodium chloride solution during cooling process. *Nihon Reorogi Gakkaishi*, 37(3), 167–172. <https://doi.org/10.1678/rheology.37.167>
- Kavitake, D., Delattre, C., Devi, P. B., Pierre, G., Michaud, P., Shetty, P. H., & Andhare, P. (2019). Physical and functional characterization of succinoglycan exopolysaccharide produced by *Rhizobium radiobacter* CAS from curd sample. *International Journal of Biological Macromolecules*, 134, 1013–1021. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.050>
- Kavitake, D., Marchawala, F. Z., Delattre, C., Shetty, P. H., Pathak, H., & Andhare, P. (2019). Biotechnological potential of exopolysaccharide as a bioemulsifier produced by *Rhizobium radiobacter* CAS isolated from curd. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 20(November 2018), 100202. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2019.100202>
- McKellar, R. C., Van Geest, J., & Cui, W. (2003). Influence of culture and environmental conditions on the composition of exopolysaccharide produced by *Agrobacterium radiobacter*. *Food Hydrocolloids*, 17(4), 429–437. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(03\)00030-4](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(03)00030-4)
- Moosavi-Nasab, M., Taherian, A. R., Bakhtiyari, M., Farahnaky, A., & Askari, H. (2012). Structural and Rheological Properties of Succinoglycan Biogums Made from Low-Quality Date Syrup or Sucrose Using *Agrobacterium radiobacter* Inoculation. *Food and Bioprocess Technology*, 5(2), 638–647. <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0407-4>
- Moscovici, M. (2015). Present and future medical applications of microbial exopolysaccharides. *Frontiers in Microbiology*, 6(SEP), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01012>

Nampoothiri, K. M., Singhanian, R. R., Sabarinath, C., & Pandey, A. (2003). Fermentative production of gellan using *Sphingomonas paucimobilis*. *Process Biochemistry*, 38(11), 1513–1519. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(02\)00321-7](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(02)00321-7)

Nery, T. B. R., Brandão, L. V., Esperidião, M. C. A., & Druzian, J. I. (2008). Biossíntese de goma xantana a partir da fermentação de soro de leite: Rendimento e viscosidade. *Química Nova*, 31(8), 1937–1941. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422008000800004>

Nitschke, M., Rodrigues, V., & Schinatto, L. F. (2001). Formulação de meios de cultivo à base de soro de leite para a produção de goma xantana por *X. Campestris* C7L1. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 21(1), 82–85. <https://doi.org/10.1590/s0101-20612001000100018>

Nwodo, U. U., Green, E., & Okoh, A. I. (2012). Bacterial exopolysaccharides: Functionality and prospects. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(11), 14002–14015. <https://doi.org/10.3390/ijms131114002>

Pedroso, G. B., Silva, L. O., Araujo, R. B., Saldanha, L. F., Denardi, L., & Martins, A. F. (2019). An innovative approach for the biotechnological production of succinoglycan from rice husks. *Industrial Crops and Products*, 137(December 2018), 615–627. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.05.052>

Rana, S., & Upadhyay, L. S. B. (2020). Microbial exopolysaccharides: Synthesis pathways, types and their commercial applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 157, 577–583. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2020.04.084>

Ruiz, S. P., Martinez, C. O., Noce, A. S., Sampaio, A. R., Baesso, M. L., & Matioli, G. (2015). Biosynthesis of succinoglycan by *Agrobacterium radiobacter* NBRC 12665 immobilized on loofa sponge and cultivated in sugar cane molasses. Structural and rheological characterization of biopolymer. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 122, 15–28. <https://doi.org/10.1016/j.molcatb.2015.08.016>

Schmid, J. (2018). Recent insights in microbial exopolysaccharide biosynthesis and engineering strategies. *Current Opinion in Biotechnology*, 53(Figure 2), 130–136. <https://doi.org/10.1016/j.cobio.2018.01.005>

Schramm, G. (2006). *Reologia e reometria: fundamentos teóricos e práticos*.

Simsek, S., Mert, B., Campanella, O. H., & Reuhs, B. (2009). Chemical and rheological properties of bacterial succinoglycan with distinct structural characteristics. *Carbohydrate Polymers*, 76(2), 320–324. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.10.033>

Souza, D. M. de, & Garcia-Cruz, C. H. (2004). Produção fermentativa de polissacarídeos extracelulares por bactérias. *Semina: Ciências Agrárias*, 25(4), 331. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2004v25n4p331>

Sutherland, I. W. (1994). Structure-function relationships in microbial exopolysaccharides. *Biotechnology Advances*, 12(2), 393–448. [https://doi.org/10.1016/0734-9750\(94\)90018-3](https://doi.org/10.1016/0734-9750(94)90018-3)

Taherian, A. R., Fustier, P., & Ramaswamy, H. S. (2007). Effects of added weighting agent and xanthan gum on stability and rheological properties of beverage cloud emulsions formulated using modified starch. *Journal of Food Process Engineering*, 30(2), 204–224. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2007.00109.x>

Yang, Y., Sun, X., Zhao, Y., Ge, W., Ding, Z., Liu, J., ... Zhang, J. (2021). Anti-tumor activity and immunogenicity of a succinoglycan riclin. *Carbohydrate Polymers*, 255. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117370>

Yildiz, H., & Karatas, N. (2018). Microbial exopolysaccharides: Resources and bioactive properties. *Process Biochemistry*, 72, 41–46. <https://doi.org/10.1016/J.PROCBIO.2018.06.009>

Zevenhuizen, L. P. T. M. (1997). Succinoglycan and galactoglucan. *Carbohydrate Polymers*, 33(2–3), 139–144. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(97\)00054-4](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(97)00054-4)

Zhou, F., Wu, Z., Chen, C., Han, J., Ai, L., & Guo, B. (2014). Exopolysaccharides produced by *Rhizobium radiobacter* S10 in whey and their rheological properties. *Food Hydrocolloids*, 36, 362–368. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.08.016>