



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO REGIONAL
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
CURSO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

DAYANNE KELLY LOPES DE ALMEIDA

**EXOPOLISSACARÍDEOS PRODUZIDOS POR BACTÉRIAS LÁTICAS
COMO AGENTES FUNCIONAIS NA FORMULAÇÃO DE
ALIMENTOS SUSTENTÁVEIS E SAUDÁVEIS**

JOÃO PESSOA

2024

DAYANNE KELLY LOPES DE ALMEIDA

**EXOPOLISSACARÍDEOS PRODUZIDOS POR BACTERIAS LÁTICAS
COMO AGENTES FUNCIONAIS NA FORMULAÇÃO DE
ALIMENTOS SUSTENTÁVEIS E SAUDÁVEIS**

Trabalho de conclusão de curso desenvolvido e apresentado no âmbito do Curso de Graduação em Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para obtenção do título de Tecnólogo em Alimentos.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Angela Maria Tribuzy de Magalhães Cordeiro

Coorientadora: MSc. Alice Soares Pereira

JOÃO PESSOA

2024

**Catálogo na publicação Seção de
Catálogo e Classificação**

A447e Almeida, Dayanne Kelly Lopes.

Exopolissacarídeos produzidos por bactérias lácticas como agentes funcionais na formulação de alimentos / Dayanne Kelly Lopes Almeida. - João Pessoa, 2024. 38 f. : il.

Orientação: Angela Maria Tribuzy de Magalhães Cordeiro.
TCC (Graduação) - UFPB/CTDR.

1. Exopolissacarídeo microbiano. 2. Alimentos sustentáveis. 3. Agentes funcionais. I. Cordeiro, Angela Maria Tribuzy de Magalhães. II. Título.

UFPB/CTDR

CDU 664

DAYANNE KELLY LOPES DE ALMEIDA

**EXOPOLISSACARÍDEOS PRODUZIDOS POR BACTERIAS LÁTICAS
COMO AGENTES FUNCIONAIS NA FORMULAÇÃO DE
ALIMENTOS SUSTENTÁVEIS E SAUDÁVEIS**

João Pessoa, 6 de maio de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



ANGELA MARIA TRIBUZY DE MAGALHAES CORDI

Data: 06/05/2024 20:54:27-0300

Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Presidente da Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente



ADRIANA MARIA FERNANDES DE OLIVEIRA GOLZ

Data: 08/05/2024 08:05:38-0300

Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Examinador 01

Documento assinado digitalmente



FABRICIA DE SOUZA FERREIRA

Data: 06/05/2024 21:21:47-0300

Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Examinador 02

Dedico este trabalho a Deus, que me presenteia todos os dias
com a energia da vida e me dá forças e coragem
para atingir meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

A Deus agradeço pelo dom da vida, por me guiar e encorajar a concluir mais uma etapa.

Agradeço a minha filha Ayla, minha razão de viver, motivo pelo qual me encorajo e me esforço todos os dias para crescer e evoluir.

Aos meus queridos pais, Elizabeth Lopes de Sousa Ribeiro e Elias Ribeiro de Almeida e ao meu irmão Vinicius Victor Lopes de Almeida agradeço por todo apoio, carinho, incentivo, cuidado e compreensão, amo muito vocês.

Ao meu amor, Trajano Neto, agradeço todo apoio, paciência e dedicação, te amo.

Agradeço à minha orientadora profa. Dra. Angela Maria Tribuzy de Magalhães Cordeiro por todos os ensinamentos e pela dedicação no presente trabalho.

A minha amiga e coorientadora, Alice Soares agradeço por todo apoio e dedicação no trabalho e na vida;

Meus agradecimentos a toda equipe de docentes do DTA, que foram peças chave em todo conhecimento que adquiri ao longo desses anos.

Agradeço aos técnicos de laboratórios e funcionários do CTDR por toda ajuda, cuidado e paciência.

Aos amigos que o curso de Tecnologia de Alimentos me apresentou, Debinha, Brubs, Thays Alves, André, Helena, Júnior, Thais Ramos e Nina, meus agradecimentos por toda parceria e por ser a melhor turma que alguém poderia ter.

Em geral, agradeço a todos que direta ou indiretamente me acompanharam e ajudaram a traçar este caminho.

RESUMO

Os exopolissacarídeos microbianos (EPS) têm ganhado destaque na indústria de alimentos devido às suas propriedades funcionais e benefícios para a saúde. Este trabalho tem como objetivo explorar o potencial desses compostos naturais na formulação de alimentos sustentáveis e saudáveis, bem como, analisar seu impacto na indústria alimentícia através de uma revisão de literatura. A pesquisa bibliográfica realizada neste estudo abrange publicações entre os anos de 2001 e 2024, nacionais e internacionais, e destacam a aplicação de EPS em diferentes categorias de alimentos, como produtos lácteos, cárneos e produtos de panificação. Os EPS são polímeros de carboidratos secretados por microrganismos, como bactérias ácido-láticas (BAL) e cepas de leveduras que desempenham um papel crucial na reologia e estabilidade de alimentos, atuando como agentes espessantes, emulsificantes e estabilizantes naturais. Ainda, esses compostos têm sido destaque em outros setores, como o farmacêutico e nutracêutico devido às suas características de biocompatibilidade e biodegradabilidade, demonstrando propriedades bioativas, incluindo atividades antioxidantes, anti-inflamatórias e imunomoduladoras, que podem contribuir para a promoção da saúde. A crescente preocupação com a sustentabilidade na indústria de alimentos levou à busca por ingredientes alternativos e processos de produção mais ecoeficientes, e os EPS se destacam como uma opção viável, uma vez que sua produção requer menos recursos naturais e gera menos resíduos em comparação aos ingredientes convencionais. Discute-se também o impacto desses polissacarídeos na textura, sabor e qualidade sensorial dos alimentos, bem como os desafios tecnológicos associados à sua incorporação. Foram abordados tópicos sobre as bactérias ácido lácticas responsáveis pela produção de EPS e potenciais aplicações na indústria de alimentos, os principais produtos funcionais utilizando EPS em sua formulação, os principais benefícios a saúde e o seu impacto na sustentabilidade. Foi possível confirmar que os EPS microbianos representam uma promissora classe de ingredientes funcionais para a formulação de alimentos sustentáveis e saudáveis e seu uso pode contribuir para a redução do impacto ambiental da indústria de alimentos, ao mesmo tempo em que oferece benefícios para a saúde dos consumidores. No entanto, é fundamental que pesquisas adicionais e regulamentações adequadas continuem a apoiar seu desenvolvimento e uso generalizado na indústria de alimentos.

Palavras-chave: Exopolissacarídeo microbiano; Alimentos sustentáveis; Agentes funcionais.

ABSTRACT

Microbial exopolysaccharides (EPS) have gained prominence in the food industry due to their functional properties and health benefits. This work aims to explore the potential of these natural compounds in formulating sustainable and healthy foods, as well as analyzing their impact on the food industry through a literature review. The bibliographical research carried out in this study covers publications between the years 2001 and 2024, national and international, which highlight the application of EPS in different food categories, such as dairy, meat and bakery products. EPS are carbohydrate polymers secreted by microorganisms such as lactic acid bacteria (LAB) and yeast strains that play a crucial role in the rheology and stability of foods, acting as natural thickening, emulsifying and stabilizing agents. Furthermore, these compounds have been highlighted in other sectors, such as pharmaceuticals and nutraceuticals, due to their biocompatibility and biodegradability characteristics, demonstrating bioactive properties, including antioxidant, anti-inflammatory and immunomodulatory activities, which can contribute to health promotion. The growing concern about sustainability in the food industry has led to the search for alternative ingredients and more eco-efficient production processes, and EPS stand out as a viable option, since their production requires fewer natural resources and generates less waste compared to conventional ingredients. The impact of these polysaccharides on the texture, flavor and sensory quality of foods is also discussed, as well as the technological challenges associated with their incorporation. Topics were covered on lactic acid bacteria responsible for the EPS production and potential applications in the food industry, the main functional products using EPS in their formulation, the main health benefits and its impact on sustainability. It was possible to confirm that microbial EPS represent a promising class of functional ingredients for the formulation of sustainable and healthy foods and its use can contribute to reducing the environmental impact of the food industry, while offering health benefits to consumers. However, it is critical that additional research and appropriate regulations continue to support its development and widespread use in the food industry.

Keywords: Microbial exopolysaccharide; Sustainable foods; Functional agents.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Alimentos funcionais desenvolvidos com cepas produtoras de EPS.

Tabela 2 - Propriedades de alguns exopolissacarídeos utilizados na Indústria de Alimentos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Principais benefícios à saúde pela ingestão de EPS produzido por cepas de BAL.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BAL - Bactérias Láticas

DCV - Doença Cardiovascular

EFSA - Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos

EPS - Exopolissacarídeos

ERO - Espécies Reativas de Oxigênio

FAO - Food and Agriculture Organization

FDA - Food and Drug Administration

GRAS - Generally Recognised as Safe

HePS - Heteropolissacarídeos

HoPS - Homopolissacarídeos

LAB - Lactic Acid Bacteria

QPS - Presunção de qualidade de segurança

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. METODOLOGIA	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1 EXOPOLISSACARÍDEOS MICROBIANOS.....	16
3.2 BAL PRODUTORAS DE EPS	16
3.2.1 Potenciais aplicações de EPS produzidos pelas BAL.....	17
3.3 ALIMENTOS FUNCIONAIS COM EPS	18
3.4 APLICAÇÃO DE EPS NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS.....	20
3.4.1 Aplicações em produtos lácteos.....	21
3.4.2 Aplicações em produtos cárneos	23
3.4.3 Aplicações em panificação	25
3.5 EPS E PRINCIPAIS BENEFÍCIOS A SAUDE	25
3.6 EPS E SUSTENTABILIDADE.....	28
4. CONCLUSÃO	30
REFERÊNCIAS.....	31

1. INTRODUÇÃO

No cenário dinâmico da indústria de alimentos, a busca por inovações que atendam às crescentes demandas dos consumidores por produtos seguros, saudáveis e sustentáveis tem impulsionado a exploração de novos ingredientes e tecnologias. Nesse contexto, os Exopolissacarídeos Microbianos (EPS) têm se destacado como uma categoria de compostos polissacarídeos produzidos por microrganismos, cujas fontes e bioatividade têm despertado um interesse crescente (Jurášková; Ribeiro; Silva, 2022; Kavitate et al., 2023).

Os EPS são carboidratos constituídos de diferentes monossacarídeos que estão associados à superfície celular na forma de cápsulas ou secretados no meio de cultivo sob a forma de limo (Saija; Welman; Bennet, 2010). Sempre que o EPS é produzido durante a fermentação, confere benefícios tecnológicos como reologia, textura e estabilidade ao produto, bem como benefícios à saúde do consumidor (Kavitate et al., 2023). Alguns autores relatam a utilização tecnológica de EPS, em nível industrial, como espessante, emulsificante, estabilizante e gelificante para melhorar a qualidade e o prazo de validade dos alimentos embalados (Hou et al., 2010), e adicionalmente, podem inibir o crescimento de patógenos nos alimentos (Nehal et al., 2019). Além disso, é um produto natural, sendo uma alternativa aos aditivos químicos comerciais, podendo inclusive apresentar atributos prebióticos, antitumoral, redução do colesterol e proteção contra diabetes do tipo 1 (Dilna et al., 2015; Abushelaibi et al., 2017; Pan et al., 2022).

As bactérias ácido lácticas (BAL) compreendem um grupo amplo e heterogêneo de micro-organismos primordiais na elaboração de produtos com atributos que entregam benefícios ao consumidor, por serem reconhecidas como seguras (“*Generally Recognised as Safe* - GRAS”) tanto para a qualidade alimentar, quanto para a saúde humana (Nikolic et al., 2012; Mangiapane et al., 2015). Além disso, detêm a capacidade de produção de substâncias que podem contribuir para a saúde, incluindo os EPS (Patel; Majumder; Goyal et al., 2012). Dentre as BAL, o gênero *Lactobacillus* representa o maior grupo e também a microbiota predominante em produtos fermentados naturais, e várias espécies têm sido pesquisadas para obtenção de EPS em diferentes condições de cultivo (Zannini et. al., 2016), dentre elas estão as *Lb. crispatus*, *Lb. gasseri*, e *Lb. plantarum* (Cataloluk; Gogebakan, 2004).

Biomoléculas de exopolissacarídeos produzidas por bactérias lácticas são de grande interesse devido às suas características estruturais, físico-químicas e funcionais únicas. Vários gêneros de BAL já foram estudados para a produção de EPS por vários grupos de pesquisa em

todo o mundo, como: *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Pediococcus*, *Weissella*, *Enterococcus*, *Leuconostoc* e *Streptococcus*, que são bem conhecidos pela produção de diversos polissacarídeos, incluindo reuterano, inulina, kefirano, glucano, galactano e manano, e mostraram uma ampla gama de propriedades funcionais e tecnológicas com potenciais aplicações na alimentação e na saúde (Bibi et al., 2021; Jurášková; Ribeiro; Silva, 2022; Kavitake et al., 2023).

A crescente aplicação de exopolissacarídeos microbianos produzidos pelas BAL na indústria de alimentos reflete sua versatilidade e seu potencial na formulação de produtos inovadores e funcionais, contribuindo para a expansão do mercado de alimentos saudáveis e sustentáveis. Neste sentido, a literatura reporta vários estudos utilizando esses EPS em produtos lácteos, de panificação, confeitaria e biofilmes (Bachtarzi et al., 2020; Moradi; Guimaraes; Sahin, 2021).

Dessa forma, este trabalho faz um levantamento da literatura para apresentar a aplicação de exopolissacarídeos microbianos na indústria de alimentos, seus efeitos tecnológicos e promissores de produtos alimentícios mais saudáveis, sustentáveis e atraentes para os consumidores modernos.

2. METODOLOGIA

Para a elaboração do presente trabalho foi realizado um levantamento bibliográfico em bancos de dados online, considerando publicações nacionais e internacionais, incluindo artigos científicos, capítulos de livros, teses, dissertações, monografias e notas técnicas, no período compreendido entre os anos de 2001 e 2024.

As plataformas de busca utilizadas foram o Periódicos Capes e o Google Acadêmico. Os descritores utilizados foram: exopolissacarídeo, EPS, exopolysaccharide, EPS production, potencial bioativo de EPS e biomolecules produced by lactic acid bacteria.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 EXOPOLISSACARÍDEOS MICROBIANOS

Os exopolissacarídeos (EPS) são polissacarídeos de cadeia longa com alto peso molecular que normalmente compreendem monossacarídeos e compostos não carboidratos, como acetatos, piruvatos, succinatos e fosfatos, sendo produzidos por diversos tipos de microrganismos, como bactérias, leveduras e fungos (Liu et al. 2016; Colombo, 2006). Esses biopolímeros têm uma variedade de propriedades funcionais, o que desperta grande interesse na indústria alimentícia. Os EPS podem ser classificados como homopolissacarídeos (HoPS), onde todos os monossacarídeos são idênticos, ou heteropolissacarídeos (HePS) que consistem de 2 a 8 unidades diferentes de monossacarídeos (Das; Baruah; Goyal, 2014).

A caracterização dos EPS é essencial para compreender suas propriedades funcionais e possíveis aplicações na indústria alimentícia. Existem várias técnicas amplamente utilizadas de análise para a detecção de EPS, como microscopia eletrônica e confocal de varredura a laser (Loeffler; Weiss, 2020), cromatografia líquida e gasosa, cromatografia de exclusão iônica e ressonância magnética nuclear (Zhang et al, 2019).

A produção de EPS microbianos é influenciada por vários fatores, incluindo o tipo de microrganismo, o meio de cultivo, temperatura, pH, ausência ou presença de oxigênio, carboidrato utilizado como substrato, gênero do micro-organismo produtor, dentre outros, gerando uma ampla diversidade de estruturas de EPS que podem ter potencial para aplicação na indústria alimentícia e farmacêutica (Zannini et al., 2016). Entre os microrganismos mais estudados para a produção desses polissacarídeos estão as bactérias ácido-láticas (BAL) e certas cepas selecionadas de leveduras. EPS produzidos por bactérias lácticas (LAB) foi relatado em alimentos fermentados. Sempre que o EPS é produzido durante a fermentação, confere benefícios tecnológicos como reologia, textura e estabilidade ao produto, bem como benefícios à saúde do consumidor (Kavitake et al., 2023).

3.2 BAL PRODUTORAS DE EPS

As bactérias lácticas (BAL) são micro-organismos heterogêneos e têm como característica o ácido lático como produto majoritário (Mangiapane et al., 2015), são reconhecidas como

seguras para uso em alimentos (“Generally Recognised as Safe - GRAS”) pela *Food and Drug Administration* (FDA) e estão incluídos na lista de presunção de qualidade de segurança (QPS) da Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos (EFSA) (Ryan et al., 2015) e produzem substâncias que podem contribuir para a saúde, como ácidos orgânicos, vitaminas e exopolissacarídeos (Adesulu et al., 2018). São capazes de sobreviver na presença de fluidos gástricos, bile e baixo pH, além de colonizar a camada epitelial do trato gastrointestinal (Angelin, 2020; Hussain et al., 2017; Saif; Sakr, 2020). Os EPS produzidos pelas BAL melhoram a textura, reologia, estabilidade e sinérese e podem ser incorporados nos alimentos com baixo teor de gordura (Angelin, 2020), como também no desenvolvimento de filmes comestíveis (Moradi; Guimaraes; Sahin, 2021). Dentre as BAL, o gênero *Lactobacillus* representa o maior grupo e também a microbiota predominante em produtos fermentados naturais, e várias espécies têm sido pesquisadas para obtenção de EPS em diferentes condições de cultivo (Zannini et. al., 2016), dentre elas estão as *Lb. crispatus*, *Lb. gasseri*, e *Lb. plantarum* (Cataloluk; Gogebakan, 2004).

3.2.1 Potenciais aplicações de EPS produzidos pelas BAL

Alguns artigos comprovaram o potencial uso de EPS produzidos por BAL como agentes emulsificantes, antioxidantes, flocculantes, viscosos, formadores de biofilmes, antitumorais, probióticos, antidiabéticos e imunológicos (Zannini et al., 2016). Alguns gêneros principais de BAL como *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Pediococcus*, *Weissella*, *Enterococcus*, *Leuconostoc* e *Streptococcus*, são bem conhecidos pela produção de diversos polissacarídeos, incluindo reuters, inulina, kefirana, glucana, galactana e manana (Tieking; Ganzle 2005; Buchholz; Seibel, 2008).

Estudos avaliaram potenciais efeitos emulsificantes dos EPS produzidos pelas BAL com diferentes tipos de hidrocarbonetos, incluindo óleos vegetais e compostos hidrofóbicos que resultaram em EPS com propriedades altamente viscosas para serem aplicadas em várias áreas, incluindo os alimentos (Trabelsi et. al., 2018; Kavitate et. al., 2020; Abid et. al., 2021).

Os antioxidantes sintéticos apresentam risco de citotoxicidade, e os polissacarídeos microbianos naturais produzidos por BAL mostraram potencial antioxidante e baixa ou nenhuma citotoxicidade, sendo uma alternativa natural e saudável para ser aplicados em diversos produtos alimentícios (Luo; Fang 2008; Valentão et. al., 2002).

Os EPS produzem biofilme para obter proteção contra ambientes externos que podem ser agressivos e para serem fortes em um ambiente altamente competitivo, produzem propriedades antibacterianas e atuam contra biofilmes formados por agentes patógenos, garantindo a qualidade e segurança nos alimentos (Kavitake et al., 2023). Foi relatado que várias cepas de BAL produzem EPS com propriedades antibacterianas contra patógenos gram-positivos e gram-negativos (Ayyash et al., 2020; Vosough et al., 2021; Abed; Essa; Alaraji, 2020; Kumar et al., 2015).

Ayyash et al. (2020), em seus estudos com a cepa *Enterococcus faecium* MS79 relataram o potencial de inibição da α -amilase (91%) e α -glucosidase (92%), sendo potencial agente antidiabético como também, apresentou propriedades reológicas, antioxidantes, antibacterianas antidiabéticas e potencial antiproliferativo contra linhas celulares de câncer Caco-2 (77%) e MCF-7 (56%) na dose de concentração de 10 mg. O EPS-MS79 inibiu o crescimento de patógenos bacterianos em até 3 logs em comparação com o controle.

Vosough et al. (2021) relataram em seus estudos que cepas produtoras de EPS *Enterococcus durans* K48, *Enterococcus faecium* R114 e *Enterococcus faecium* T52 isoladas de Kishk (produto lácteo tradicional) mostraram aumento da concentração de EPS nas três amostras examinadas e maior capacidade de eliminação de radicais. A maior porcentagem inibitória foi observada na concentração de 25 mg/mL de EPS nas três amostras, que foram 53, 58 e 64% para *E. durans* K48, *E. faecium* R114 e *E. faecium* T52, respectivamente, como também foram relatados sem efeito de toxicidade contra fibroblastos gengivais humanos.

3.3 ALIMENTOS FUNCIONAIS COM EPS

Os alimentos funcionais são geralmente descritos como produtos alimentícios que oferecem vários benefícios à saúde quando incorporados à dieta alimentar, e são classificados em quatro categorias principais de acordo com sua definição: alimentos convencionais, alimentos modificados, alimentos destinados a necessidades dietéticas especiais e alimentos medicinais (Hasler et al., 2009).

Os alimentos funcionais estão cada vez mais despertando interesse devido às suas propriedades benéficas para a saúde, que vão além da simples nutrição básica e englobam a prevenção e tratamento de doenças, proporcionando um estilo de vida mais saudável. Os EPS são uma classe promissora de ingredientes funcionais que estão sendo utilizados para esta finalidade.

Os EPS microbianos apresentam diversas propriedades funcionais que podem ser aproveitadas no desenvolvimento de produtos alimentícios (Kavitate et al., 2023). Essas características melhoram as qualidades reológicas, de textura, estabilidade e sinérese dos alimentos e podem ser empregados no desenvolvimento de novos produtos com baixo teor de sólidos e gorduras (Xu et al., 2020).

Adicionalmente, os EPS têm sido estudados como agentes encapsuladores para a liberação controlada de compostos bioativos em alimentos funcionais (Pereira et al, 2018; Silva, et al. 2015).

A **Tabela 1** apresenta algumas pesquisas com alimentos funcionais desenvolvidos por cepas produtoras de EPS e seus efeitos no produto final.

Tabela 1 - Alimentos funcionais desenvolvidos por cepas produtoras de EPS e seus efeitos no produto final.

Artigos	Alimentos funcionais	Cepas produtoras de exopolissacarídeo	Resultados
Bachtarzi et al., 2020	Leite desnatado fermentado	<i>L. plantarum</i> LBIO1	Produziu géis de leite menos permeáveis, podendo ser utilizada na fabricação de laticínios para evitar sinérese e/ou aumentar a retenção de água.
		<i>L. plantarum</i> LBIO28	Apresentou maior viscosidade, indicando que o polímero pode ser utilizado como substituto natural de gordura
Madhubasani et al, 2020	Iogurte probiótico com leite de cabra	<i>S. thermophilus</i> e <i>L. delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i>	Exibiu alta viscosidade aparente, baixa sinérese e propriedades sensoriais melhoradas
Wang W. F. Y., 2019	Queijos com baixo teor de gordura	<i>L. plantarum</i> JLK0142	Melhorou a qualidade geral

Gentes; ST-Gelais, 2016	Iogurte	<i>L. delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> DGCC291	Diminuiu a sinérese e aumentou a viscosidade
		<i>Streptococcus</i> <i>thermophilus</i> NIZO 2104	Aumentou a viscosidade e o módulo de elasticidade e diminui a sinérese.
Xu et al., 2018	Iogurte	<i>Streptococcus</i> <i>thermophilus</i> S-3	Diminuiu a sinérese
Asensio, V. et al., 2018	Iogurte de leite ovino	YF-L903	Apresentou uma rede bem estruturada, refletindo maior firmeza, espessura e sensação cremosa após a fabricação e final do armazenamento

Fonte: próprio autor.

A partir dos dados relatados na **Tabela 1**, pode se evidenciar que o EPS microbiano desempenha um papel importante no melhoramento dos atributos qualitativos, principalmente de produtos lácteos, como o aumento da viscosidade, textura e elasticidade, como também, destaca-se a notável diminuição da sinérese desses produtos.

3.4 APLICAÇÃO DE EPS NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

A indústria de alimentos enfrenta desafios contínuos na busca por ingredientes que não apenas aprimorem as propriedades tecnológicas dos produtos, mas também, as que atendam às demandas crescentes por opções mais saudáveis e inovadoras. Nesse contexto, os EPS surgem como agentes promissores na formulação de diversos produtos alimentícios.

Estudos demonstram que os EPS, na indústria de alimentos, são utilizados como agentes estabilizantes, espessantes, emulsificantes e modificadores de reologia e textura, conforme apresentado na **Tabela 2**.

Essas substâncias podem ser empregadas no desenvolvimento de diferentes produtos alimentícios, como: iogurtes, queijos, molhos, pães, bebidas lácteas e produtos de confeitaria. Possuem propriedades físicas, comportamento não newtoniano e alta viscosidade em meio

aquoso (Abid et al., 2021; Freitas; Alves; Reis, 2011; Ripari, 2019). Além disso, os EPS têm propriedades interessantes, como resistência a condições de pH e temperatura, o que os torna úteis na formulação de alimentos processados e na melhoria da qualidade sensorial dos produtos. Outro aspecto relevante é o potencial dos exopolissacarídeos como prebióticos, promovendo o crescimento de bactérias benéficas no trato gastrointestinal, o que pode impactar positivamente a saúde intestinal e o sistema imunológico dos consumidores finais (Das; Baruah; Goyal, 2014).

Tabela 2 - Propriedades de alguns EPS utilizados na Indústria de Alimentos.

Exopolissacarídeos	Propriedades	Cepas de bactérias
Alginato	Capacidade de gelificação e formação de filme.	<i>P. aeruginosa</i> e <i>A. vinelandii</i>
Celulose	Não solúvel na maioria solventes e possui alta resistência à tração	<i>Acetobacter spp.</i>
Curdlan	Capacidade de formação de gel, insolubilidade em água e não tóxico.	<i>Rhizobium meliloti</i> e <i>Agrobacterium radiobacter</i>
Dextano	Boa estabilidade e tem comportamento newtoniano.	<i>L. mesenteriodes</i>
Glucuronano	Capacidade de gelificação e espessamento.	<i>Sinorhizobium meliloti</i> M5N1CS e <i>Gluconacetobacter hansenii</i>
Succinoglicano	Proporciona alta viscosidade e estabilidade ácida.	<i>Alcaligenes faecalis</i> var. <i>mixógenos</i>
Xantana	Alta viscosidade, estável em amplas temperaturas, pH e concentrações de sal.	<i>Xanthomonas spp.</i>

Fonte: Adaptado de Nwodo; Grenn; Okoh (2012)

3.4.1 Aplicações em produtos lácteos

Os EPS microbianos oferecem uma gama de benefícios tecnológicos e sensoriais quando aplicados em produtos lácteos, proporcionando oportunidades para inovação na indústria alimentícia e atendendo às demandas por produtos com características específicas, como bio espessantes naturais que contribuem para a consistência e viscosidade (Abdellah; Abdelmalik, 2014). A viscosidade e a capacidade de intensificação da textura são determinadas pela sua composição química, estrutura de massa molar das unidades repetidas (Laws; Marshall, 2001) e da interação com a matriz proteica alimentar (Hassan, 2008). Segundo Luc et. al. (2001), o uso de EPS produzidos por BAL para iogurtes, leites e bebidas fermentados permite reduzir a quantidade de adição de sólidos do leite e melhorar alguns atributos qualitativos, como viscosidade, textura e estabilidade e evitar sinérese.

A produção *in situ* de EPS é explorada em bebidas fermentadas tradicionais, como kefir, *dahi* e *pulque* (Medrano et al., 2009) e muito utilizada para a fabricação de queijos com baixo teor de gordura, pois aumentam a umidade, reduzem a rigidez da rede proteica e favorecem a viscosidade da fase sérica (Hassan, 2008). O uso da cepa *S. thermophilus* produtora de EPS permitiu melhorar os atributos sensoriais de um queijo tipo Caciotta com baixo teor de gordura (Cagno et al., 2014). Além disso, o uso de um *Lactobacillus* produtor de EPS em queijo Cheddar com baixo teor de gordura induziu um aumento no teor de umidade, atividade de água e taxa de dessorção de água (Costa et al., 2010).

Estudos realizados por Gentes, Turgeon e Gelais (2016), em iogurtes endurecidos e adicionados de EPS e amido observaram que a formulação com a *starter* de *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* DGCC291 teve a maior capacidade de reter soro no iogurte endurecido e aumentou a viscosidade aparente e os valores do módulo de elasticidade do iogurte sem amido. Já Madhubasani *et al.*, (2020) em seus estudos com culturas iniciadoras produtoras de EPS observaram que agregam positivamente na redução de sinérese do iogurte endurecido e aumentou a acidez titulável e viscosidade aparente de iogurte de leite de vaca durante o armazenamento de 28 dias. Enquanto Ale et al. (2016), demonstraram que iogurtes desnatados suplementados com EPS puro a 73 mg/L e 146 mg/L apresentaram valores de dureza mais elevados do que os produtos de controle e permaneceram estáveis até o final do período de estudo.

Demarinis et al., 2024 estudaram três cepas produtoras de exopolissacarídeos (*Levilactobacillus brevis* AM7, *Weissella confusa* CK15 e *Pediococcus claussenii* DSM 14800) nas propriedades tecnológicas e funcionais do iogurte composto de farinha de alfarroba e grão de bico. A atividade antioxidante foi expressa como a atividade eliminadora do radical DPPH do extrato metanólico das amostras e foi marcadamente elevada (86,37%) mesmo antes da

fermentação (t₀), e não foram observadas variações significativas no tempo final. Foi observado um aumento acentuado de viscosidade para iogurtes fermentados com *W. confusa* CK15, e o valor permaneceu estável em torno de 3000 mPa × s até o final da fermentação.

Estudo realizado com cepas produtoras de EPS *Lactiplantibacillus plantarum*, isoladas de produtos lácteos fermentados, foram caracterizadas para avaliar o impacto dos polímeros nas fermentações do leite. A cepa *L. plantarum* LBIO1 produziu géis de leite com estrutura menos permeável, e assim esta cepa poderia ser utilizada na fabricação de laticínios para evitar sinérese e/ou aumentar a retenção de água, e a cepa *L. plantarum* LBIO28 apresentou maior viscosidade, indicando que o polímero produzido *in situ* pode ser utilizado como substituto natural de gordura para melhorar as propriedades reológicas de produtos menos calóricos (Bachtarzi, Nadia et al., 2020).

Na produção de queijos, a aplicação de microrganismos formadores de EPS mostrou-se benéfica no que diz respeito à capacidade de retenção de água e à textura geral do produto (Garbowska; Berthold, 2016; Nepomuceno; Costa 2016). Costa et al. (2010) detectaram que o uso de *Lactococcus lactis subsp.* sintetizador de EPS *cremoris* starter na produção de queijo Cheddar meio gordo resultou em propriedades de textura e derretimento semelhantes às relatadas para Cheddar integral devido ao aumento dos níveis de proteólise primária, retenção de umidade e caseína intacta diluída. Outro estudo desenvolvido por Zisu e Shah (2007) investigaram a influência do EPS produzido por cepas de *S. thermophilus* na textura e nas propriedades de cozimento do queijo Mussarela com baixo teor de gordura, no qual obteve melhor retenção de umidade, elasticidade e capacidade de fusão do queijo.

Vários estudos desenvolveram sorvetes com adição de EPS, como os experimentos realizados por Dertli E, et. al. (2016), que revelaram a possibilidade de elaboração de sorvete funcional fermentado utilizando cepas de *S. thermophilus* com diferentes características de produção de EPS sem qualquer estabilizador, atuando como agente espessante, gelificante e formador de microestrutura compactas dentro do sorvete.

3.4.2 Aplicações em produtos cárneos

A aplicação de EPS em produtos cárneos podem aumentar a capacidade de retenção de água ou reduzir o teor de gordura. E atualmente, *Lactobacillus* e *Pediococcus* são os gêneros de BAL mais comumente usados para aumentar a segurança alimentar, reduzindo as concentrações de bactérias naturais em produtos de carne crua através da formação de ácido

lático e ácido acético, competição direta de nutrientes e produção de bacteriocinas (Korcz, Evelin; Varga, László, 2021).

Para a fabricação de produtos cárneos a adição de hidrocoloides é amplamente utilizada, pois são biopolímeros de grande peso molecular e possuem grupos hidroxila que ligam a água (Funami, 2011), o que justifica serem frequentemente usados para melhorar a capacidade de retenção de água (Andrès; Zaritzky; Califano, 2006), influenciar as características de gelificação das proteínas da carne (Verbeken., et al 2005) e para melhorar as propriedades de textura de produtos com baixo ou reduzido teor de gordura (Gibis; Schuh; Weiss, 2015; Totosa; Pérez-Chabela, 2009).

Além dos hidrocoloides, os fosfatos são outro grupo de aditivos amplamente utilizados na indústria de carnes, pois suas forças eletrostáticas nos complexos actina-miosina muscular são alteradas, levando a uma expansão dos espaços vazios entre a actina e a miosina, permitindo assim que quantidades adicionais de água sejam ligadas (Lampila, 2013; Wang; Xu; Zhou, 2009). Igualmente, os fosfatos são conhecidos por sua capacidade de inibir o crescimento de certos microrganismos e prevenir a oxidação lipídica (Feiner, 2006; Lampila, 2013). No entanto, tanto os hidrocoloides como os fosfatos devem ser declarados como aditivos na embalagem. Por outro lado, a adição de EPS nesses produtos acarretaria características semelhantes a esses aditivos sem a necessidade de ser adicionado na rotulagem, sendo uma forma de fabricar produtos de rótulo limpo.

Estudos conduzidos por Sarteshnizi et al. (2015), mostraram a produção *in situ* de EPS em salsichas fermentadas cruas onde revelaram melhorias em relação às características sensoriais e a possibilidade de reduzir o teor geral de gordura dos produtos, mantendo a espalhabilidade, o que geralmente é realizado com a aplicação de hidrocoloides que precisam ser rotulados.

Trabelsi et. al. (2018) realizaram estudos com a cepa EPS-Ca 6 produzido por *Lactobacillus sp.* Ca 6 em embutidos cárneos, e revelaram que o EPS-Ca 6 purificado exibiu boas propriedades funcionais, particularmente para formação de emulsão e capacidade de estabilização. Além disso, avaliou a substituição de Vitamina C por EPS-Ca 6 em salsichas que resultou na inibição da peroxidação lipídica e reduziu a oxidação de oxiemoglobina, o que consequentemente melhorou a estabilidade da cor da carne durante o armazenamento refrigerado.

3.4.3 Aplicações em panificação

Em produtos de panificação os EPS podem desempenhar várias funções, como melhorar a textura, viscosidade, estabilidade e vida útil dos produtos. Eles ajudam a melhorar a retenção de água e formar uma rede com outros componentes da massa e ligar a água (Xu et al., 2020). Algumas pesquisas têm se concentrado em identificar novas fontes de EPS, otimizar sua produção em escala industrial e avaliar seus efeitos nas propriedades físicas, nutricionais e sensoriais.

Pesquisa realizada por Galle et al. (2012) descobriu que o EPS formado durante a fermentação da massa foi responsável pela diminuição da elasticidade e resistência da massa e pela melhoria da vida útil dos pães de sorgo. Katina et. al. (2009) investigaram a influência do EPS (dextrano) na massa fermentada de trigo produzida *in situ* por *Weissella confusa* VTT E-90392. O HoPS formado aumentou a viscosidade da massa fermentada e o volume do pão final em até 10% e melhorou a maciez do miolo (25 a 40%).

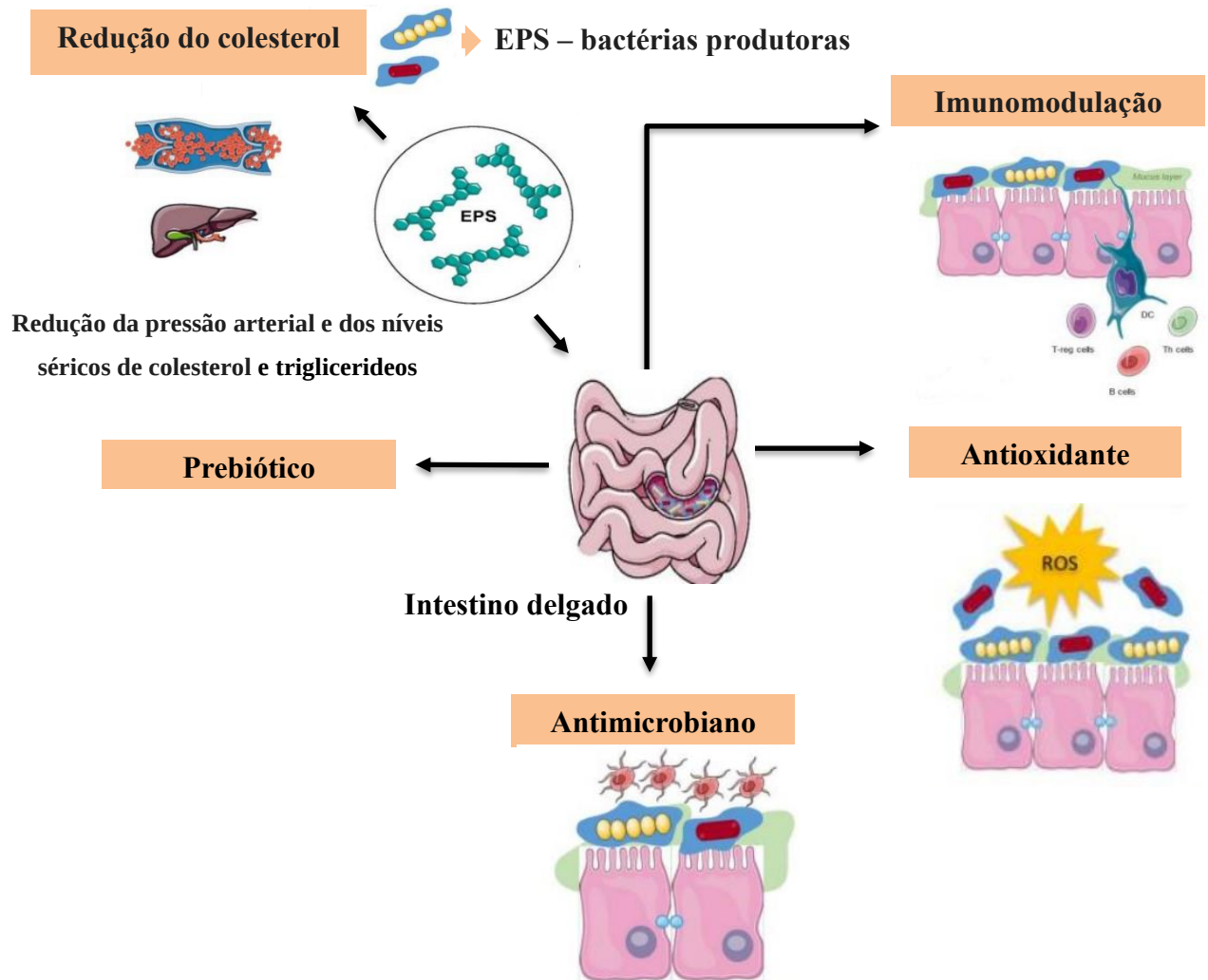
Estudo relata que os defeitos provenientes de produtos de panificação sem glúten, como a baixa absorção de água, alterações nas características do miolo, diminuição do volume do pão e baixa estabilidade, podem ser eliminados adicionando BAL produtores de EPS à massa fermentada sem glúten (Lynch et al., 2018).

3.5 EPS E PRINCIPAIS BENEFÍCIOS A SAÚDE

Os EPS derivados das BAL tem sido destaque em outros setores, como o farmacêutico e nutracêutico devido às suas características de biocompatibilidade e biodegradabilidade (Angelin; Kavitha, 2020). A funcionalidade do EPS para a saúde está correlacionada com as propriedades moleculares e estruturais específicas, como, por exemplo, peso molecular, alinhamento e composição de monossacarídeos que afetam sua bioatividade (Wang et. al., 2020).

A **Figura 1** expõe os principais efeitos dos EPS na saúde que são: prebióticos, antioxidantes, imunomoduladores, redutores do colesterol e antimicrobianos (Prete et al., 2021).

Figura 1 - Principais benefícios à saúde pela ingestão de EPS produzido por cepas de BAL.



Autor: Adaptado de Prete et al., (2021).

Segundo Gibson et. al., (2017) os prebióticos são definidos como um substrato que é utilizado seletivamente por microrganismos hospedeiros conferindo um benefício à saúde. Mas, para serem considerados prebióticos, um composto precisa ser resistente à digestão gástrica e intestinal, não ser absorvido no intestino delgado, ser fermentado pela microbiota intestinal, e produzir um efeito benéfico na saúde do hospedeiro (Salazar et al., 2016). A literatura confirma que EPS secretado por BAL tem um potencial efeito prebiótico semelhante aos polissacarídeos derivados da dieta de origem vegetal (Caggianiello; Kleerebezem; Spano, 2016; Badel; Bernardi; Michaud, 2011; Korcz.; Kerényi.; Varga, 2018). Gibson et. al., (2017), relataram que EPS da *Lb. plantarum* mostrou alta resistência à acidez do ambiente gástrico melhorando seletivamente o crescimento de bifidobactérias.

A doença cardiovascular (DCV) é uma das principais causas de morte nas sociedades ocidentais, e a hipertensão e a hipercolesterolemia são reconhecidas como os dois principais fatores de risco (Tok; Aslim, 2010). Estudos demonstraram que os alimentos lácteos fermentados e/ou probióticos, têm um papel potencial no tratamento das DCV pela sua atividade redutora do colesterol (Bhat, 2019). A administração de EPS produzidos pelas BAL tem se mostrado promissora, diminuindo complicações relacionadas às DCV. Estudo com a administração de 15 mg/kg de peso corporal de EPS de *Lb. casei* LC2W em ratos e hipertensos resultou em uma redução moderada na pressão arterial (AI et. al., 2008). Dilna et. al (2015) em seus estudos com ensaio *in vitro*, mostrou que o EPS da *Lb. plantarum* RJF4 foi capaz de reduzir o nível de colesterol em 42,24%.

As espécies reativas de oxigênio (ERO) são subprodutos naturais das células humanas que podem causar sérios danos às biomoléculas celulares, como o estresse oxidativo que leva a condições inflamatórias crônicas no intestino e doenças sistêmicas degenerativas. Atualmente a indústria tem interesse no desenvolvimento de meios para evitar esses radicais livres (Liu et. al., 2018; Sharifi et. al., 2020). Os antioxidantes de fontes naturais, incluindo as BAL associados a alimentos e probióticos, têm sido investigados como intervenções dietéticas para enfrentar a superprodução e acúmulo de ERO (Mishra et. al., 2015; Prete et. al., 2020). Os antioxidantes de EPS bacteriano podem degradar o ânion superóxido e peróxido de hidrogênio através da atividade eliminadora de ERO, inibição da peroxidação lipídica, redução da atividade quelante de íons metálicos e regulação de enzimas (Mishra et. al., 2015; Trabelsi et. al., 2017). Estudos recentes confirmaram o potencial antioxidante do EPS produzido durante a fermentação do leite e, em particular, do *Lactobacillus. delbrueckii ssp. bulgaricus* SRFM-1 (Tang et al., 2017), bem como, também está sendo confirmada por diferentes estudos *in vivo* (Wang et. al., 2020; Zhang et. al., 2017; Li et. al., 2019).

Os EPS derivados das BAL também possuem atividade antibacteriana contra patógenos alimentares, diminuindo infecções crônicas e resistência aos antibióticos. Estudos demonstraram a inibição de *Salmonella enterica* ATCC 43972 e *Micrococcus luteus* por *Lactobacillus sp* Ca6 (Trabelsi et. al., 2017). Além disso, EPS-DN1 isolado de *Lb. kefiranofaciens* DN1 exibiu atividade bactericida notável contra bactérias patogênicas, como *Listeria monocytogenes* e *Salmonella enteritidis*, (Jeong et al., 2017). Em seus estudos observaram que o EPS produzido pela *Lb. johnsonii* FI9785 pode favorecer a colonização de bactérias probióticas no trato gastrointestinal do hospedeiro, substituindo bactérias patogênicas em um modo de inibição competitivo (Dertli et al., 2013). Foi observado a capacidade de EPS

de BAL em interferir na formação de biofilmes de patógenos, interrompendo a integridade e comunicações celulares (Spano et. al., 2016; Xing et al., 2009).

3.6 EPS E SUSTENTABILIDADE

Os exopolissacarídeos microbianos ganham relevância quando se discute sustentabilidade. Sua aplicação na indústria alimentícia pode reduzir a necessidade de aditivos químicos e sintéticos, promovendo produtos mais naturais e saudáveis, como também, podem melhorar a vida útil dos alimentos, reduzindo desperdícios e ainda possuem potencial em aplicações biotecnológicas, como na fabricação de materiais biodegradáveis (Gonzalez et al., 2017).

Apesar dos muitos benefícios tecnológicos e de saúde dos EPS produzidos por micro-organismos, o alto custo do meio de cultura ainda é um problema importante na produção industrial. Ademias, o baixo rendimento de EPS de BAL dificulta a produção industrial (Oleksy, Klewicka, 2018). De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura, *Food and Agriculture Organization* (FAO), mais de um terço de todos os alimentos produzidos a cada ano são descartados (Sharma et al., 2020) e métodos para reduzir esse impacto ambiental estão sendo cada vez mais pensados e colocados em prática. Recentemente, uma revisão abordou sobre o uso de resíduos alimentícios para fermentação microbiana e explanou trabalhos utilizando soro de leite, melão de cana, casca de batata e outros para a fermentação de *Lactobacillus* obtendo bons resultados, contribuindo assim, para redução de custos de produção e, ao mesmo tempo, minimizando os impactos ambientais (Sakr, Massoud, Ragaei, 2021).

Na atividade agrícola, o estresse hídrico é um dos principais impedimentos à produtividade, diminuindo a absorção e transporte de nutrientes pelas plantas. Diante desta problemática, os exopolissacarídeos desempenham função de manter o teor de umidade e crescimento de plantas sob condições de seca, pois formam uma proteção contra dessecação ao redor das raízes por um período mais longo, como também, contribuem para agregação microbiana, interação planta-micróbio, fixação superficial e biorremediação (Khan, N.; Bano, 2019).

Estudos foram realizados para reduzir esse impacto ambiental, Bashan L (2004) mostrou que plantas tratadas com bactéria *Azospirillum* produtora de EPS apresentaram resistência ao estresse hídrico por meio de melhoria na estrutura do solo e agregação do solo.

Bacterização de sementes de milho com Cepas produtoras de EPS melhoraram o teor de umidade do solo, a biomassa da planta, o comprimento das raízes e dos brotos, a área foliar e os teores de proteína e açúcar nas folhas sob condições de estresse hídrico (Naseem, H.; Bano, A., 2014).

A goma xantana é um EPS sintetizado pelas bactérias do gênero *Xanthomonas*, através do processo fermentativo aeróbico que utiliza a glicose ou sacarose como principal substrato (Reis, et al., 2010). Esse subproduto é muito utilizado na indústria, podendo favorecer o meio ambiente, onde estudos avaliaram seu potencial para o tratamento de águas, com a adição do polissacarídeo na etapa de floculação resultou em melhor qualidade, aumentou o tamanho do floco e diminuiu o tempo de sedimentação (Scariotto, 2013). No setor agrícola, a fluidez de fungicidas, herbicidas e inseticidas foi melhorada pela adição de xantana, que resulta na suspensão uniforme de componentes sólidos nas formulações (Deangelis P. L., 2012). Estudos revelam que eles também podem atuar como biofloculantes, absorvedores de metais pesados e de produtos químicos (Mohamad, O. et al., 2012; Wang, Y. et al., 2008; Shah, A. et al., 2008).

Os EPS de BAL também são utilizados na produção de materiais de embalagem e filmes comestíveis, onde estudo recente incorporou BAL com alta produção de EPS em filme de amido de mandioca na presença de carboximetilcelulose sódica e glicerol para gerar filme compósito biodegradável. O filme apresentou boa aparência e degradabilidade e proporcionou boa barreira à água e à luz.

4. CONCLUSÃO

A presente revisão bibliográfica destaca o potencial dos exopolissacarídeos microbianos na indústria alimentícia. Os EPS têm diversas aplicações, desde melhorar a textura e estabilidade dos alimentos até o desenvolvimento de filmes comestíveis. Eles são usados como agentes emulsificantes, flocculantes, viscosos, formadores de biofilmes, probióticos, antidiabéticos, antioxidantes, imunológicos e antiproliferativos contra células cancerígenas.

Na indústria de alimentícia, os EPS oferecem oportunidades para o desenvolvimento de produtos nutricionalmente melhorados e com valor agregado, contribuindo para a promoção de estilos de vida mais saudáveis. Eles são usados no setor lácteo para melhorar a consistência, viscosidade e estabilidade de produtos como iogurtes, queijos e bebidas lácteas. Na indústria cárnea, os EPS podem melhorar a retenção de água e reduzir o teor de gordura, proporcionando características sensoriais aprimoradas e estabilidade de cor durante o armazenamento. Na panificação, os EPS desempenham um papel crucial na melhoria da textura, viscosidade, estabilidade e vida útil dos produtos.

Além disso, os EPS oferecem benefícios à saúde, como propriedades prebióticas, antioxidantes, redução de colesterol e atividade antibacteriana. Os EPS também desempenham um papel significativo na sustentabilidade, contribuindo para práticas mais sustentáveis, como a redução de aditivos químicos, aumento da vida útil dos alimentos, utilização de resíduos alimentares, melhoria da produtividade agrícola e desenvolvimento de materiais biodegradáveis. No entanto, desafios, como o custo de produção industrial e baixo rendimento, precisam ser abordados em mais pesquisas.

REFERÊNCIAS

- ABDELLAH, M. et al. Screening for exopolysaccharide-producing strains of thermophilic lactic acid bacteria isolated from Algerian raw camel milk. **African Journal of Microbiology Research**, v. 8, p. 2208–2214, 2014.
- ABED, S.; ESSA, R. H.; ALARAJI, K. H. Y. Evaluation of the antibacterial activity and immunomodulatory effect of purified exopolysaccharides (EPS) produced from vancomycin resistant *Enterococcus faecalis*. **Int. J. Drug Deliv. Tec**, v. 10, p. 523-529, 2020.
- ABID, Y. et al. Rheological and emulsifying properties of an exopolysaccharide produced by potential probiotic *Leuconostoc citreum*-BMS strain. **Carbohydrate Polymers**, v. 256, p. 117523, 2021.
- ABUSHELAIBI, A. et al. Characterization of potential probiotic lactic acid bacteria isolated from camel milk. **LWT-Food Science and Technology**, v. 79, p. 316-325, 2017.
- ADESULU, D.; SANNI, A; JEYARAM, K. Production, characterization and in vitro antioxidant activities of EPS from *Weissella cibaria* GA44. **LWT- Food Science and Technology**, v. 87, p. 432-442, 2018.
- AI, L. et al. Preparation, partial characterization and bioactivity of exopolysaccharides from *Lactobacillus casei* LC2W. **Carbohydrate Polymers**, v. 74, n. 3, p. 353-357, 2008.
- ALE, E. et al. Technological, rheological and sensory characterizations of a yogurt containing an exopolysaccharide extract from *Lactobacillus fermentum* Lf2, a new food additive. **Food Research International**, v. 90, p. 259-267, 2016.
- ANDRÈS, S.; ZARITZKY, N.; CALIFANO, A. The effect of whey protein concentrates and hydrocolloids on the texture and colour characteristics of chicken sausages. **International journal of food science & technology**, v. 41, n. 8, p. 954-961, 2006.
- ANGELIN, J.; KAVITHA, M. Exopolysaccharides from probiotic bacteria and their health potential. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 162, p. 853-865, 2020.
- ASENSIO V., Carmen et al. Development of yoghurt from ovine milk with enhanced texture and flavour properties. **International Journal of Dairy Technology**, v. 71, n. 1, p. 112-121, 2018.
- AYYASH, M. et al. Exopolysaccharide produced by potential probiotic *Enterococcus faecium* MS79: Characterization, bioactivities and rheological properties influenced by salt and pH. **LWT - Food Science and Technology **, v. 131, p. 109741, 2020.
- BACHTARZI, N. et al. Selection of exopolysaccharide-producing *Lactobacillus Plantarum* (*Lactiplantibacillus Plantarum*) isolated from Algerian fermented foods for the manufacture of skim-milk fermented products. **Microorganisms**, v. 8, n. 8, p. 1101, 2020.
- BADEL, S.; BERNARDI, T.; MICHAUD, Philippe. New perspectives for *Lactobacilli* exopolysaccharides. *Biotechnology advances*, v. 29, n. 1, p. 54-66, 2011.

BAJPAI, V. K. et al. Exopolysaccharide and lactic acid bacteria: Perception, functionality and prospects. **Bangladesh Journal of Pharmacology**, v. 11, n. 1, p. 1-23, 2016.

BASHAN, Y.; HOLGUIN, G.; DE-BASHAN, L. Azospirillum-plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003). **Canadian journal of microbiology**, v. 50, n. 8, p. 521-577, 2004.

BHAT, B.; BAJAJ, B. K. Hypocholesterolemic potential and bioactivity spectrum of an exopolysaccharide from a probiotic isolate *Lactobacillus paracasei* M7. **Bioactive carbohydrates and dietary fibre**, v. 19, p. 100191, 2019.

BIBI, A. et al. Recent advances in the production of exopolysaccharide (EPS) from *Lactobacillus* spp. and its application in the food industry: A review. **Sustainability**, v. 13, n. 22, p. 12429, 2021.

BUCHHOLZ, K.; SEIBEL, J. Industrial carbohydrate biotransformations. **Carbohydrate Research**, v. 343, n. 12, p. 1966-1979, 2008.

CAGGIANIELLO, G.; KLEEREBEZEM, M.; SPANO, G. Exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria: from health-promoting benefits to stress tolerance mechanisms. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 100, p. 3877-3886, 2016.

CATALOLUK, O.; GOGEBAKAN, B. Presence of drug resistance in intestinal lactobacilli of dairy, and human origin in Turkey. **FEMS Microbiology Letters**, v. 236, p. 7–12, 2004.

COLOMBO, V. Polissacarídeos extracelulares e atividade enzimática das glicosidases no reservatório de Barra Bonita. 2006. Tese (doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2006.

COSTA, N. E. et al. Effect of exopolysaccharide produced by isogenic strains of *Lactococcus lactis* on half-fat Cheddar cheese. **Journal of dairy science**, v. 93, n. 8, p. 3469-3486, 2010.

DAS, D.; BARUAH, R.; GOYAL, A. A food additive with prebiotic properties of an α -d-glucan from *Lactobacillus plantarum* DM5. **International journal of biological macromolecules**, v. 69, p. 20-26, 2014.

DE VUYST, L. et al. Recent developments in the biosynthesis and applications of heteropolysaccharides from lactic acid bacteria. **International Dairy Journal**, v. 11, n. 9, p. 687-707, 2001.

DEANGELIS, P. L. Glycosaminoglycan polysaccharide biosynthesis and production: today and tomorrow. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 94, p. 295-305, 2012.

DEMARINIS, C. et al. Effect of LAB starters on technological and functional properties of composite carob and chickpea flour plant-based gurt. **Future Foods**, v. 9, p. 100289, 2024.

DERTL, E. et al. Development of a fermented ice-cream as influenced by in situ exopolysaccharide production: Rheological, molecular, microstructural and sensory characterization. **Carbohydrate Polymers**, v. 136, p. 427-440, 2016.

DERTLI, E. et al. Structure and biosynthesis of two exopolysaccharides produced by *Lactobacillus johnsonii* FI9785. **Journal of Biological Chemistry**, v. 288, n. 44, p. 31938-31951, 2013.

DI CAGNO, R. et al. Use of microparticulated whey protein concentrate, exopolysaccharide-producing *Streptococcus thermophilus*, and adjunct cultures for making low-fat Italian Caciotta-type cheese. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 1, p. 72-84, 2014.

DILNA, S. V. et al. Characterization of an exopolysaccharide with potential health-benefit properties from a probiotic *Lactobacillus plantarum* RJF4. **LWT-Food Science and Technology**, v. 64, n. 2, p. 1179-1186, 2015.

FEINER, G. Meat products handbook: Practical science and technology. **Elsevier**, 2006.

FREITAS, F.; ALVES, V. D.; REIS, M. A. M. Advances in bacterial exopolysaccharides: from production to biotechnological applications. **Trends in biotechnology**, v. 29, n. 8, p. 388-398, 2011.

FUNAMI, T. Next target for food hydrocolloid studies: Texture design of foods using hydrocolloid technology. **Food Hydrocolloids**, v. 25, n. 8, p. 1904-1914, 2011.

GALLE, S. et al. Influence of in-situ synthesized exopolysaccharides on the quality of gluten-free sorghum sourdough bread. **International journal of food microbiology**, v. 155, n. 3, p. 105-112, 2012.

GARBOWSKA, M. P. A., BERTHOLD P. A. Changes during ripening of reduced-fat Dutch-type cheeses produced with low temperature and long time (LTLT) heat-treated adjunct starter culture. **LWT - Food Science and Technology**, 69, 287–294, 2016.

GENTÈS, M. C; TURGEON, S. L.; ST-GELAIS, D. Impact of starch and exopolysaccharide-producing lactic acid bacteria on the properties of set and stirred yoghurts. **International Dairy Journal**, v. 55, p. 79-86, 2016.

GIBIS, M.; SCHUH, V.; WEISS, J. Effects of carboxymethyl cellulose (CMC) and microcrystalline cellulose (MCC) as fat replacers on the microstructure and sensory characteristics of fried beef patties. **Food Hydrocolloids**, v. 45, p. 236-246, 2015.

GIBSON, G. R. et al. Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. **Nature reviews Gastroenterology & hepatology**, v. 14, n. 8, p. 491-502, 2017.

GONZÁLEZ, K. et al. D-isosorbide and 1, 3-propanediol as plasticizers for starch-based films: characterization and aging study. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 134, n. 20, 2017.

HASSAN, A. N. ADSA foundation scholar award: Possibilities and challenges of exopolysaccharide-producing lactic cultures in dairy foods. **Journal of Dairy Science**, 91(4), 1282–1298, 2008.

HASLER, Clare M. et al. Position of the American Dietetic Association: functional foods. **Journal of the American Dietetic Association**, v. 109, n. 4, p. 735-746, 2009.

HONGPATTARAKERE, T. et al. In vitro prebiotic evaluation of exopolysaccharides produced by marine isolated lactic acid bacteria. **Carbohydrate Polymers**, v. 87, n. 1, p. 846-852, 2012.

HOU, Q. et al. Investigation into the physicochemical stability and rheological properties of betacarotene emulsion stabilized by soybean soluble polysaccharides and chitosan. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 58, p. 8604–8611, 2010.

HUSSAIN, A. et al. Blends and composites of exopolysaccharides; properties and applications: A review. **International journal of biological macromolecules**, v. 94, p. 10-27, 2017.

JEONG, D. et al. Characterization and antibacterial activity of a novel exopolysaccharide produced by *Lactobacillus kefirianofaciens* DN1 isolated from kefir. **Food Control**, v. 78, p. 436-442, 2017.

JURÁŠKOVÁ, D.; RIBEIRO, S. C.; SILVA, C. C. G. Exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria: from biosynthesis to health-promoting properties. **Foods**, v. 11, n. 2, p. 156, 2022.

KATINA, K. et al. In situ production and analysis of *Weissella confusa* dextran in wheat sourdough. **Food microbiology**, v. 26, n. 7, p. 734-743, 2009.

KAVITAKE, D. et al. Evaluation of oil-in-water (O/W) emulsifying properties of galactan exopolysaccharide from *Weissella confusa* KR780676. **Journal of food science and technology**, v. 57, p. 1579-1585, 2020.

KAVITAKE, D. et al. Exopolysaccharides produced by *Enterococcus* genus—An overview. **International journal of biological macromolecules**, v. 226, p. 111-120, 2023.

KHAN, N.; BANO, A. Exopolysaccharide producing rhizobacteria and their impact on growth and drought tolerance of wheat grown under rainfed conditions. *PLoS one*, v. 14, n. 9, p. e0222302, 2019.

KORCZ, E.; KERÉNYI, Z.; VARGA, L. Dietary fibers, prebiotics, and exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria: Potential health benefits with special regard to cholesterol-lowering effects. *Food & function*, v. 9, n. 6, p. 3057-3068, 2018.

KORCZ, E.; VARGA, L. Exopolysaccharides from lactic acid bacteria: Techno-functional application in the food industry. **Trends in Food Science & Technology**, v. 110, p. 375-384, 2021.

KUMAR B. et al. Physico-chemical characterization of exopolysaccharides of potential probiotic *Enterococcus faecium* isolates from infants' gut. **Current Biochemical Engineering**, v. 2, n. 1, p. 90-100, 2015.

LAMPILA, L. E. Applications and functions of food-grade phosphates. **Annals of the New York academy of sciences**, v. 1301, n. 1, p. 37-44, 2013.

LAWS, A. P; MARSHALL V. M. The relevance of exopolysaccharides to the rheological properties in milk fermented with ropy strains of lactic acid bacteria. **International Dairy Journal**, 11(9), 709–721, 2001.

LI, B. et al. In vitro and in vivo evaluation of an exopolysaccharide produced by *Lactobacillus helveticus* KLDS1. 8701 for the alleviative effect on oxidative stress. **Food & function**, v. 10, n. 3, p. 1707-1717, 2019.

LI, S. et al. Cassava starch/carboxymethylcellulose edible films embedded with lactic acid bacteria to extend the shelf life of banana. **Carbohydrate Polymers**, v. 248, p. 116805, 2020.

LIU, Q. et al. Yield improvement of exopolysaccharides by screening of the *Lactobacillus acidophilus* ATCC and optimization of the fermentation and extraction conditions. **Excli journal**, v. 15, p. 119, 2016.

LIU, Z. et al. Role of ROS and nutritional antioxidants in human diseases. **Frontiers in physiology**, v. 9, p. 360203, 2018.

LOEFFLER, M. et al. Usage of in situ exopolysaccharide-forming lactic acid bacteria in food production: Meat products—A new field of application? **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 19, n. 6, p. 2932-2954, 2020.

LUO, D.; FANG, B. Structural identification of ginseng polysaccharides and testing of their antioxidant activities. **Carbohydrate Polymers**, v. 72, n. 3, p. 376-381, 2008.

LYNCH, K. M.; COFFEY, A.; ARENDT, E. K. Exopolysaccharide producing lactic acid bacteria: Their techno-functional role and potential application in gluten-free bread products. **Food research international**, v. 110, p. 52-61, 2018.

MADHUBASANI, G. et al. Exopolysaccharide producing starter cultures positively influence on microbiological, physicochemical, and sensory properties of probiotic goats' milk set-yoghurt. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 44, n. 3, p. e14361, 2020.

MANGIAPANE, E. et al. Ten years of subproteome investigations in lactic acid bacteria: a key for food starter and probiotic typing. **Journal of Proteomics**, v. 127, p. 332-339, 2015.

MEDRANO, M. et al. Kefiran protects Caco-2 cells from cytopathic effects induced by *Bacillus cereus* infection. **Antonie Van Leeuwenhoek**, v. 96, p. 505-513, 2009.

MISHRA, V. et al. Probiotics as potential antioxidants: a systematic review. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 63, n. 14, p. 3615-3626, 2015.

MORADI, M.; GUIMARÃES, J.; SAHIN, S. Current applications of exopolysaccharides from lactic acid bacteria in the development of food active edible packaging. **Current Opinion in Food Science**, v. 40, p. 33-39, 2021.

NASEEM, H.; BANO, A. Role of plant growth-promoting rhizobacteria and their exopolysaccharide in drought tolerance of maize. **Journal of Plant Interactions**, v. 9, n. 1, p. 689-701, 2014.

NEHAL, F. et al. Characterization, high production and antimicrobial activity of exopolysaccharides from *Lactococcus lactis* F-mou. **Microbial pathogenesis**, v. 132, p. 10-19, 2019.

NEPOMUCENO, R.; JUNIOR, L.; COSTA, R. Exopolysaccharide-producing culture in the manufacture of Prato cheese. **LWT - Food Science and Technology**, 72, 383–389, 2016.

NIKOLIC, M. et al. Characterisation of the exopolysaccharide - producing *Lactobacillus plantarum* BGCG11 and its non-EPS producing derivative strains as potential probiotics. **International Journal Food Microbiology**, v. 158, p. 155–162, 2012.

NWODO, U.; GREEN, E. Bacterial exopolysaccharides: functionality and prospects. **International journal of molecular sciences**, v. 13, n. 11, p. 14002-14015, 2012.

OLEKSY, M.; KLEWICKA, E. Exopolysaccharides produced by *Lactobacillus* sp.: Biosynthesis and applications. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 58, n. 3, p. 450-462, 2018.

PAN, L. et al. Long-term drench of exopolysaccharide from *Leuconostoc pseudomesenteroides* XG5 protects against type 1 diabetes of NOD mice via stimulating GLP-1 secretion. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 102, n. 5, p. 2023-2031, 2022.

PATEL, S.; MAJUMDER, A.; GOYAL, A. Potentials of exopolysaccharides from lactic acid bacteria. **Indian journal of microbiology**, v. 52, p. 3-12, 2012.

PENG, W.; XU, X.; ZHOU, G. Effects of meat and phosphate level on water-holding capacity and texture of emulsion-type sausage during storage. **Agricultural Sciences in China**, v. 8, n. 12, p. 1475-1481, 2009.

PEREIRA, K. C. et al. Microencapsulação e liberação controlada por difusão de ingredientes alimentícios produzidos através da secagem por atomização: revisão. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, 2018.

PRETE, R. et al. Food-borne *Lactiplantibacillus plantarum* protect normal intestinal cells against inflammation by modulating reactive oxygen species and IL-23/IL-17 axis. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 16340, 2020.

PRETE, R. et al. Lactic acid bacteria exopolysaccharides producers: a sustainable tool for functional foods. **Foods**, v. 10, n. 7, p. 1653, 2021.

RAHNAMA V. P. et al. Evaluation of antioxidant, antibacterial and cytotoxicity activities of exopolysaccharide from *Enterococcus* strains isolated from traditional Iranian Kishk. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 15, p. 5221-5230, 2021.

RAHNAMA V., P. et al. Evaluation of antioxidant, antibacterial and cytotoxicity activities of exopolysaccharide from *Enterococcus* strains isolated from traditional Iranian Kishk. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 15, p. 5221-5230, 2021.

RAIPARI, V. Techno-functional role of exopolysaccharides in cereal-based, yogurt-like beverages. **Beverages**, v. 5, n. 1, p. 16, 2019.

REIS, Elisiane C. et al. Biopolymer Synthesized by Strains of *Xanthomonas* sp Isolate from Brazil Using Biodiesel-Waste. In: **Macromolecular symposia**. p. 347-353, 2010.

RIPARI, V. Techno-functional role of exopolysaccharides in cereal-based, yogurt-like beverages. **Beverages**, v. 5, n. 1, p. 16, 2019.

RYAN, P. M. et al. Sugar-coated: exopolysaccharide producing lactic acid bacteria for food and human health applications. **Food & function**, v. 6, n. 3, p. 679-693, 2015.

SAIF, F.; SAKR, E. Characterization and bioactivities of exopolysaccharide produced from probiotic *Lactobacillus plantarum* 47FE and *Lactobacillus pentosus* 68FE. **Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre**, v. 24, p. 100231, 2020.

SAIJA, N.; WELMAN, A.; BENNETT, R. Development of a dairy-based EPS bioingredient. **International Dairy Journal**, v. 20, p. 603–608, 2010.

SAKR, E.; MASSOUD, M.; RAGAEI, S. Food wastes as natural sources of lactic acid bacterial exopolysaccharides for the functional food industry: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 189, p. 232-241, 2021.

SALAZAR, N. et al. Exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria and bifidobacteria as fermentable substrates by the intestinal microbiota. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 56, n. 9, p. 1440-1453, 2016.

SARTESHNIZI, R. A. et al. Optimization of prebiotic sausage formulation: Effect of using β -glucan and resistant starch by D-optimal mixture design approach. **LWT-Food Science and Technology**, v. 62, n. 1, p. 704-710, 2015.

SCARIOTTO, M. Estudo da goma xantana como auxiliar no processo de floculação em tratamento de água para abastecimento. 2013. 60p. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2013.

SHAH, A. et al. Biological degradation of plastics: a comprehensive review. **Biotechnology advances**, v. 26, n. 3, p. 246-265, 2008.

SHAH, N. P. Texture characteristics and pizza bake properties of low-fat Mozzarella cheese as influenced by pre-acidification with citric acid and use of encapsulated and ropy exopolysaccharide producing cultures. **International Dairy Journal**, v. 17, n. 8, p. 985-997, 2007.

SHARIFI-RAD, M. et al. Lifestyle, oxidative stress, and antioxidants: back and forth in the pathophysiology of chronic diseases. **Frontiers in physiology**, v. 11, p. 694, 2020.

SHARMA, P. et al. Microbial strategies for bio-transforming food waste into resources. **Bioresource technology**, v. 299, p. 122580, 2020.

SILVA, T. M. et al. Encapsulation of bioactive compounds by complex coacervation. **Ciência e Natura**, v. 37, p. 56-64, 2015.

SPANÒ, A. et al. In vitro antibiofilm activity of an exopolysaccharide from the marine thermophilic *Bacillus licheniformis* T14. **Current microbiology**, v. 72, p. 518-528, 2016.

TANG, W. et al. Structural characterization and antioxidant property of released exopolysaccharides from *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* SRFM-1. **Carbohydrate polymers**, v. 173, p. 654-664, 2017.

TIEKING, M.; GÄNZLE, M. G. Exopolysaccharides from cereal-associated lactobacilli. **Trends in Food Science & Technology**, v. 16, n. 1-3, p. 79-84, 2005.

TOK, E.; ASLIM, B. Cholesterol removal by some lactic acid bacteria that can be used as probiotic. **Microbiology and immunology**, v. 54, n. 5, p. 257-264, 2010.

TOTOSAUS, A.; PÉREZ-CHABELA, M. Textural properties and microstructure of low-fat and sodium-reduced meat batters formulated with gellan gum and dicationic salts. **LWT-Food Science and Technology**, v. 42, n. 2, p. 563-569, 2009.

TRABELSI, I. et al. Evaluation of dermal wound healing activity and in vitro antibacterial and antioxidant activities of a new exopolysaccharide produced by *Lactobacillus* sp. Ca6. **International journal of biological macromolecules**, v. 103, p. 194-201, 2017.

TRABELSI, I. et al. Physicochemical, techno-functional, and antioxidant properties of a novel bacterial exopolysaccharide in cooked beef sausage. **International journal of biological macromolecules**, v. 111, p. 11-18, 2018.

VALENTÃO, P. et al. Antioxidative properties of cardoon (*Cynara cardunculus* L.) infusion against superoxide radical, hydroxyl radical, and hypochlorous acid. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 50, n. 17, p. 4989-4993, 2002.

VERBEKEN, D. et al. Influence of κ -carrageenan on the thermal gelation of salt-soluble meat proteins. **Meat science**, v. 70, n. 1, p. 161-166, 2005.

WANG, K. et al. Preparation, partial characterization and biological activity of exopolysaccharides produced from *Lactobacillus fermentum* S1. **Journal of bioscience and bioengineering**, v. 129, n. 2, p. 206-214, 2020.

WANG, Y. et al. Influence of dextran synthesized in situ on the rheological, technological and nutritional properties of whole grain pearl millet bread. **Food Chemistry**, v. 285, p. 221-230, 2019.

WANG, Y. et al. Physicochemical properties of exopolysaccharide produced by *Lactobacillus kefirianofaciens* ZW3 isolated from Tibet kefir. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 43, n. 3, p. 283-288, 2008.

XING, K. et al. Effect of oleoyl-chitosan nanoparticles as a novel antibacterial dispersion system on viability, membrane permeability and cell morphology of *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Carbohydrate Polymers*, v. 76, n. 1, p. 17-22, 2009.

XU, D. et al. Comparison of the functionality of exopolysaccharides produced by sourdough lactic acid bacteria in bread and steamed bread. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 68, n. 33, p. 8907-8914, 2020.

XU, Z. et al. Exopolysaccharide produced by *Streptococcus thermophiles* S-3: Molecular, partial structural and rheological properties. *Carbohydrate polymers*, v. 194, p. 132-138, 2018.

ZANNINI, E. et al. Production, properties, and industrial food application of lactic acid bacteriaderived exopolysaccharides. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 100, n. 3, p. 1121-1135, 2016.

ZHANG, G. et al. Preparation screening, production optimization and characterization of exopolysaccharides produced by *Lactobacillus sanfranciscensis* Ls-1001 isolated from Chinese traditional sourdough. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 139, p. 1295-1303, 2019.

ZHANG, J. et al. Antioxidant status and gut microbiota change in an aging mouse model as influenced by exopolysaccharide produced by *Lactobacillus plantarum* YW11 isolated from Tibetan kefir. *Journal of dairy science*, v. 100, n. 8, p. 6025-6041, 2017.

ZISU, B.; SHAH, N. P. Texture characteristics and pizza bake properties of low-fat Mozzarella cheese as influenced by pre-acidification with citric acid and use of encapsulated and ropy exopolysaccharide producing cultures. *International Dairy Journal*, v. 17, n. 8, p. 985-997, 2007.