

RECENTES APLICAÇÕES DE LEVANA COMO INGREDIENTE FUNCIONAL EM FORMULAÇÕES COSMÉTICAS

Edmilson Clarindo de Siqueira¹;

Secretaria de Educação e Esportes de Pernambuco (SEE-PE), Arcoverde, PE.

<http://lattes.cnpq.br/5601480141942779>

Bogdan Doboszewski².

Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife, PE.

<http://lattes.cnpq.br/6223344464515450>

RESUMO: Os polissacarídeos são considerados materiais promissores para a indústria de cosméticos. Dentre eles, a levana tem se destacado recentemente por sua atoxicidade, biocompatibilidade e biodegradabilidade. Trata-se de um polissacarídeo único, formado por unidades de frutose. É solúvel em água e óleo, apresenta baixa viscosidade intrínseca e alta adesividade, tornando-se um ingrediente valioso para produtos cosméticos. Formulações com levana protegem a pele contra agentes irritantes e reduzem a perda de água, favorecendo a hidratação ao estimular a síntese de colágeno em fibroblastos. Além disso, a levana possui atividades antioxidantes, anti-inflamatórias e anticancerígenas, comprovadas em diversos estudos. Seu potencial para preservar e melhorar a saúde natural da pele tem sido amplamente pesquisado. Com o crescimento do interesse no uso da levana, elaboramos uma revisão sobre sua aplicação em formulações cosméticas.

PALAVRAS-CHAVE: Levana. Aplicações. Cosméticos.

APPLICATIONS RECENT OF LEVANA AS A FUNCTIONAL INGREDIENT IN COSMETIC FORMULATIONS

ABSTRACT: Polysaccharides are considered promising materials for the cosmetics industry. Among them, levan has recently stood out for its non-toxicity, biocompatibility and biodegradability. It is a unique polysaccharide, formed by fructose units. It is soluble in water and oil, has low intrinsic viscosity and high adhesiveness, making it a valuable ingredient for cosmetic products. Formulations with levan protect the skin against irritants and reduce water loss, promoting hydration by stimulating collagen synthesis in fibroblasts. In addition, levan has antioxidant, anti-inflammatory and anticancer activities, proven in several studies. Its potential to preserve and improve the natural health of the skin has been widely researched. With the growing interest in the use of levan, we prepared a review on its application in

cosmetic formulations.

KEYWORDS: Levan. Applications. Cosmetics.

INTRODUÇÃO

Os cosméticos são amplamente utilizados nos cuidados pessoais e têm como finalidade principal melhorar a aparência do corpo. Incluem produtos como loções, cremes, xampus e filtros solares. Embora não alterem as funções ou estruturas do organismo, dispensando aprovação prévia para comercialização, seus ativos e concentrações devem ser regulamentados (FREITAS, ALVES e REIS, 2015).

A indústria cosmética está entre as que mais cresce no mundo. Dos 1000 produtos registrados no mercado global, cerca de 13% foram classificados como cosméticos. Em 2017, o setor movimentou US\$ 523,43 bilhões, subindo para US\$ 805,61 bilhões em 2023, com crescimento médio anual de 7,14% e taxas recentes de até 15% ao ano. No Brasil, os cosméticos naturais têm demanda crescente entre 5% e 10%, podendo atingir US\$ 25,11 bilhões até 2025 (HELENAS *et al.*, 2023).

Um aspecto importante na avaliação de um cosmético é a redução máxima dos efeitos adversos à pele. Por isso, a indústria tem priorizado formulações mais seguras, sustentáveis e com ingredientes naturais e atóxicos (WASILEWSKI *et al.*, 2022). Nesse contexto, os exopolissacarídeos (EPS) vêm ganhando destaque por serem biodegradáveis, biocompatíveis e não tóxicos (ÖNER, HERNÁNDEZ e COMBIE, 2016).

Dentre os EPS recentemente investigados, levana tem se destacado por atrair o interesse de diversos pesquisadores ao redor do mundo. Trata-se de um carboidrato singular formado por unidades de frutose. Levana possui características como solubilidade em água e óleo, baixa viscosidade, alta adesividade e capacidade de formar filmes. Além disso, apresenta atividades antioxidante, anti-inflamatória e anticancerígena, por isso tem sido aplicada em vários setores, incluindo o alimentício, farmacêutico e cosmético (ÖNER, HERNÁNDEZ e COMBIE, 2016).

Nos últimos anos, diversos estudos têm explorado o uso da levana em formulações cosméticas, destacando suas propriedades benéficas para a pele (WASILEWSKI *et al.*, 2022). No entanto, até o momento, não identificamos uma revisão abrangente que compile essas informações.

OBJETIVO

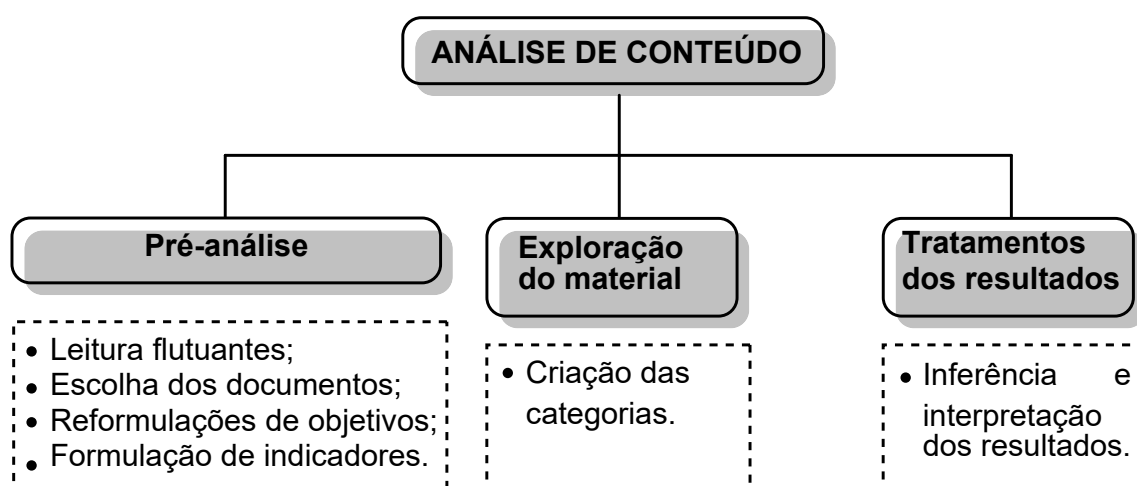
Diante disso, o objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão sobre a aplicação da levana como ingrediente em produtos cosméticos, reunindo evidências sobre suas propriedades e potenciais benefícios.

METODOLOGIA

Este estudo consiste em uma revisão bibliográfica acerca dos avanços recentes de levana como ingrediente cosmético. A pesquisa possui uma abordagem qualitativa, com caráter exploratório e descritivo, buscando ampliar o conhecimento sobre a aplicação desse polímero na indústria de cosméticos.

Para a execução desta revisão, foi utilizado a metodologia da Análise de Conteúdo (BARDIN, 2016). A execução do processo seguiu as etapas delineadas na Figura 1, a seguir:

Figura 1: Esquema ilustrativo da Técnica Análise do Conteúdo.



Fonte: Bardin (2016).

A Análise de Conteúdo baseia-se na criação de categorias para organizar e interpretar os dados de forma sistemática. Seguiu-se o modelo de Bardin (2016), com três etapas: pré-análise, exploração do material e tratamento dos dados.

Pré-análise

Corresponde à leitura preliminar de todo o material coletado, leitura exploratória e criação das categorias de análise (CAMPANINI e ROCHA, 2021). Nesta fase foi utilizada uma pesquisa sistemática, privilegiando produções com classificação A1, A2, B1 e B2 do Qualis da Capes.

Exploração do material

A busca foi feita nas bases PubMed, SciELO e Google Acadêmico, com descritores em português e inglês, como: “Levana e cosmético”, “Frutana e cosmético” e “Exopolissacarídeo e antioxidante”. A maior parte dos artigos foi obtida no Google Acadêmico.

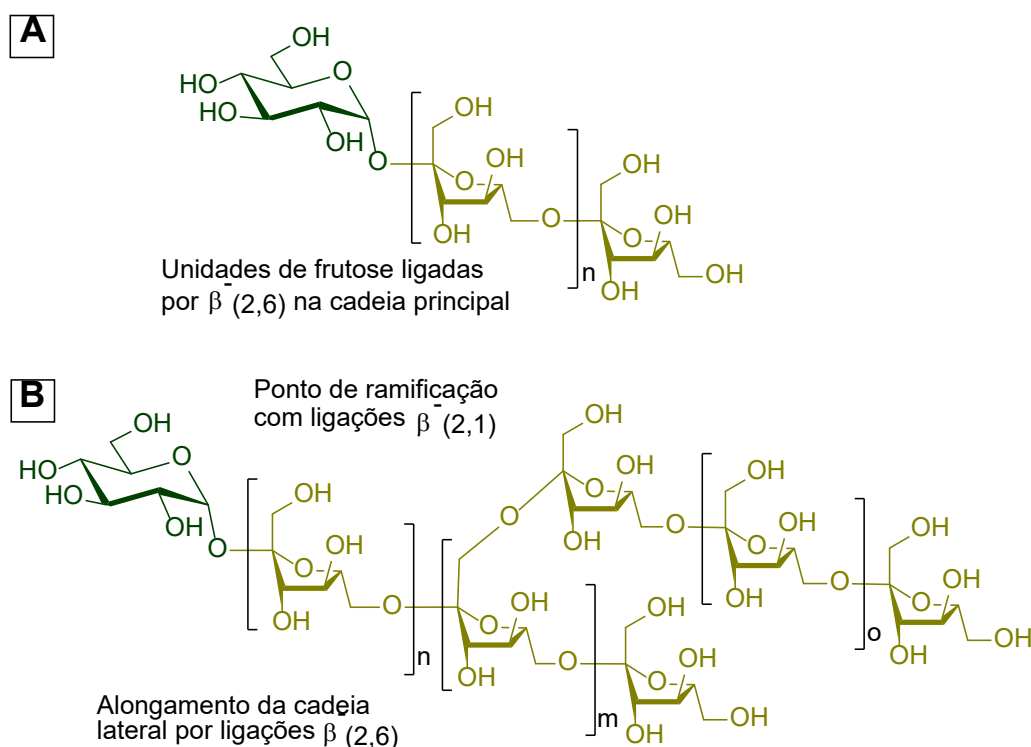
Tratamentos dos dados

A interpretação dos dados foi realizada pela elaboração e construção de sentidos entre os dados coletados e a literatura pertinente (CAMPANINI e ROCHA, 2021). A Análise de Conteúdo, segundo Bardin (2016), contribuiu para contextualizar o estudo e validar sua aplicação.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A levana é uma frutana, assim como a inulina, que são carboidratos encontrados na forma furanosídica (SRIKANTH *et al.*, 2015a). Trata-se de um homopolissacarídeo formado por unidades de frutose unidas principalmente por ligações β -(2,6) na cadeia principal e β -(2,1) nas ramificações no carbono C-1 (ÖNER, HERNÁNDEZ e COMBIE, 2016; SIQUEIRA e ÖNER, 2023), conforme mostrado na Figura 2.

Figura 2: Estrutura molecular de levana linear (A) e levana ramificada (B).



Fonte: Produção autoral.

A levana possui propriedades relevantes que a torna um biopolímero promissor, como seu caráter anfifílico, que permite sua solubilidade tanto em água quanto em óleo (REPORT, 2012). Possui baixa viscosidade intrínseca ($[\eta]$ entre 0,07 e 0,18 dL/g) para pesos moleculares de 16 a 24 kDa (REPORT, 2012). Além disso, demonstra alta estabilidade térmica, degradando-se a 225°C (BARONE e MEDYNETS, 2007), resistência mecânica significativa com forte adesividade, e estabilidade química em uma faixa de pH entre 4 e 11

(FIUME *et al.*, 2016). Por fim, a levana é capaz de formar nanopartículas por automontagem em ambiente aquoso (SIQUEIRA *et al.*, 2017; SIQUEIRA, 2019; SIQUEIRA *et al.*, 2020; SIQUEIRA e ÖNER, 2023).

Propriedades biológicas de levana

Além de suas propriedades físico-químicas, levana é um polímero atóxico, biodegradável e biocompatível (REPORT, 2012; ÖNER, HERNÁNDEZ e COMBIE, 2016). Também apresenta diversas atividades biológicas, como ações antioxidante, anti-inflamatória, anticancerígena, além de efeitos antimicrobianos e antivirais (SRIKANTH *et al.*, 2015a; ÖNER, HERNÁNDEZ e COMBIE, 2016; SIQUEIRA e HOULLOU, 2022; SIQUEIRA e HOULLOU, 2023; SIQUEIRA e ÖNER, 2023; SIQUEIRA e DOBOSZEWSKI, 2024).

Apesar de levana oferecer diversos benefícios à saúde humana, ela é mais reconhecida por suas propriedades antioxidantes, antitumorais, anti-inflamatórias e antimicrobianas

Tabela 1: Propriedades biológicas de levana produzida por diferentes microrganismos.

Propriedades biológicas	Descrição e detalhamento	Referência
Antidesnaturante	Levana a 0,25 mg/mL inibiu a desnaturação da albumina de soro bovino (BSA) em 71,18% <i>in vitro</i> (controle: diclofenaco de sódio).	SRIKANTH <i>et al.</i> , 2015b
Antidiabética	Administrada via oral em ratos diabéticos reduziu os níveis plasmáticos de glicose e lipídios séricos; e aumentou os níveis de glicogênio.	DAHECH <i>et al.</i> , 2011
Antifúngica	Levana produzida por <i>Pseudomonas putida</i> mostrou efeito fagocitário de 70% na concentração de 200µg/mL contra <i>Candida albicans</i> .	KAZIM, ALLAMI e RADIF, 2017
Anti-hipertensiva	Levana de <i>B. subtilis</i> A17 atuou como um importante inibidor da enzima conversora de angiotensina I <i>in vitro</i> (em 81,1%), na concentração de 4 mg/mL.	BOUALLEGUE <i>et al.</i> , 2020
Antileishmania	Levana produzida por <i>B. fenoliresistens</i> , na concentração de 2500 µg/mL, apresentou efeito citotóxico máximo na linhagem celular L20B e promastigotas de <i>Leishmani tropica</i> .	AL-HALBOSIY <i>et al.</i> , 2017
Antipatogênica	Levana de baixo e alto peso molecular apresentaram atividade antipatogênica <i>in situ</i> contra várias bactérias (testadas em pães com e sem levana na composição).	BYUN, LEE e MAH, 2014
Antiviral	Levana produzidos por cepas de <i>B. subtilis</i> isoladas de mel apresentaram atividade antiviral sobre o vírus da gripe aviária e adenovírus tipo 40.	ESAWY <i>et al.</i> , 2011

Hipocolesterolêmica	Diminuição dos níveis de colesterol com o aumento do teor de levana na dieta (de 1% e 5%).	BELGHITH <i>et al.</i> , 2012
Imunomoduladora	Levana apresentou efeito estimulador significativo na proliferação de esplenócitos de ratinhos e indução de fator de necrose tumoral (TNF) <i>in vitro</i> .	QUEIROZ <i>et al.</i> , 2017
Sinalização celular	Levana possui efeito modulador dependente do peso molecular na sinalização de receptores do tipo Toll-like (TLRs) em células THP-1.	AKKERMAN <i>et al.</i> , 2024

Fonte: Produção autoral.

Aplicações cosméticas de levana

A levana possui propriedades marcantes que a torna um biomaterial promissor para uso cosmético (REPORT, 2012; LEWIŃSKA *et al.*, 2021). A Figura 3 (na página a seguir) ilustra suas principais características e possíveis aplicações nessa área.

Figura 3: Propriedades biológicas de levana e suas aplicações cosméticas.



Fonte: Produção autoral.

Produtos para cabelos

A levana é amplamente usada em produtos capilares como agente fixador, sendo incorporada em géis, cremes e loções devido à sua baixa viscosidade em solução aquosa. Por ser um polímero não iônico, apresenta boa compatibilidade com outros ingredientes, sendo comum em sprays fixadores à base de água ou água com etanol (ÖNER, HERNÁNDEZ e COMBIE, 2016).

A Rhodia Inc. desenvolveu um surfactante derivado da levana com grupos catiônicos

para uso em shampoos e condicionadores (REPORT, 2012; ÖNER, HERNÁNDEZ e COMBIE, 2016). Já a levana carboximetilada (CML) demonstrou melhorar a resistência de cabelos danificados, reduzindo a elevação das cutículas após descoloração, conforme análises por microscopia eletrônica (KIM *et al.*, 2012).

Formulações antirrugas

A levana se destaca em formulações antienvhecimento e antirrugas por sua capacidade de estimular a produção de colágeno (ERGINER *et al.*, 2023).

Por exemplo, hidrogéis à base de levana têm demonstrado maior eficácia antirrugas em comparação a outros materiais. Choi *et al.* (2018) formularam hidrogéis injetáveis com levana, Pluronic F127 e carboximetilcelulose, que foram mais biocompatíveis que o ácido hialurônico em testes com camundongos. Já Hwang *et al.* (2021) desenvolveram um hidrogel de levana com 1% de hidroxiapatita (HAp), que apresentou boa estabilidade e ação antirrugas prolongada.

Levana de *B. subtilis* (natto), em nanoemulsão, foi incorporada em cremes, tônicos e géis com ação antirrugas, reduzindo significativamente sua profundidade (DOMŻAŁ-KĘDZIA *et al.*, 2019).

Géis e loções para o banho

A busca por géis e loções de banho sustentáveis com ingredientes naturais e seguros tem se intensificado na indústria cosmética (HELENAS *et al.*, 2023). Nesse contexto, ingredientes obtidos por fermentação têm ganhado destaque em produtos como géis de banho (WASILEWSKI *et al.*, 2022).

Um gel de banho formulado com extrato fermentado de *B. subtilis* (natto), rico em levana, mostrou reduzir significativamente os efeitos adversos na pele, especialmente o ressecamento causado por substâncias hidrofóbicas durante a lavagem. Os resultados indicam que levana é um ingrediente eficaz e seguro para cosméticos de higiene pessoal, oferecendo benefícios funcionais e preservando a barreira cutânea (WASILEWSKI *et al.*, 2022).

A levana produzida por *Erwinia amylovora* apresentou excelentes propriedades físico-químicas, sugerindo seu potencial como um microgel solúvel em água. O estudo concluiu que, com base nesses resultados, existem fortes argumentos para explorar o uso de hidrogéis em setores como alimentício, medicinal e cosmético (PENG *et al.*, 2019).

Cremes faciais

A levana estimula a proliferação celular, alivia irritações e hidrata a pele em cosméticos

(REPORT, 2012). Seu potencial para melhorar a saúde da pele também é estudado para uso facial.

Lewńska *et al.* (2021) desenvolveram um creme à base de nanopartículas e nanoemulsão de levana com surfactina. Em testes *in vivo*, a formulação melhorou a hidratação, elasticidade, suavidade, rugas e lesões vasculares em pelo menos 50%, além de reduzir em 10% a descoloração da pele.

Silva *et al.* (2022) criaram um creme facial com levana de *B. subtilis* (natto) e óleo de amêndoa, em proporção de 75% para 25%. Após 90 dias, o produto mostrou boa espalhabilidade, pH adequado e alta hidratação, mantendo a estabilidade e as propriedades para uso cosmético facial.

Helenas *et al.* (2023) criaram um gel aniônico com 1% de levana, extrato de *Aloe vera* e óleo de abacate. A fórmula ideal teve 76% de atividade antioxidante, 98,37% de hidratação e boa espalhabilidade, além de estabilidade e segurança para uso.

Hidratantes para a pele

O efeito hidratante da levana vem da estimulação da síntese de colágeno em fibroblastos, que melhora a regeneração da pele e sua barreira (CHOI *et al.*, 2018). Kim *et al.* (2005) mostraram que levana age como o ácido hialurônico, promovendo a proliferação celular e a hidratação da pele, sendo ideal para uso em peles sensíveis.

Nair e Choudhury (2020) criaram um hidrogel de levana-gelana com alta estabilidade e elasticidade, indicando seu potencial como material injetável. Osman, Oner e Eroglu (2017) desenvolveram hidrogéis à base de levana por reticulação química. Os hidrogéis demonstraram adesão à pele três vezes maior que adesivos de fibrina.

A levana tem se destacado também como excipiente eficaz em cosméticos, facilitando a entrega de ativos. Por exemplo, levana produzida por *B. subtilis* (natto) foi usada em nanopartículas para um creme nanoemulsivo com surfactina. Foi verificado que levana melhorou a hidratação e elasticidade da pele (DOMŻAŁ-KĘDZIA *et al.*, 2019). Lewńska *et al.* (2021), produziram nanopartículas e nanoemulsões de levana com compostos hidrofóbicos. As formulações foram eficazes na penetração pelo estrato córneo.

Finalmente, levana promove forte hidratação ao reduzir a perda de água da pele, graças à sua solubilidade, alta adesão e capacidade de formar filmes, destacando-se como um eficaz condicionador cutâneo (KANG *et al.*, 2009).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A indústria cosmética cresce rapidamente, com foco na qualidade baseada na redução de efeitos negativos à pele, aumentando a demanda por produtos seguros e naturais, renováveis e biocompatíveis. Neste contexto, levana se destaca graças às suas propriedades

multifuncionais, como sua atoxicidade, biocompatibilidade e biodegradabilidade.

O biopolímero levana possui diversas aplicações cosméticas. Produtos à base de levana, como géis, cremes e loções, reduzem danos e aumentam a hidratação da pele. Sua capacidade de estimular o colágeno promove efeitos antienvhecimento e antirrugas, enquanto suas propriedades imunomoduladoras ajudam a prevenir alergias. Além disso, levana também se destaca no uso capilar como fixador de cabelos.

Formulações nanoestruturadas à base de levana, como hidrogéis, nanopartículas e emulsões, mostraram benefícios para a saúde e segurança comprovada. Contudo, o uso da levana na indústria cosmética ainda é restrito, sendo necessária mais pesquisa para ampliar sua aplicação.

REFERÊNCIAS

- AL-HALBOSIY, M.M.F. *et al.* Biological Activity of Levan Produced from Rhizospheric Soil Bacterium *Brachybacterium phenoliresistens* KX139300. *Baghdad Science Journal*, 15 (03), 238–243, 2018.
- AKKERMAN, R. *et al.* (2024). Exopolysaccharide β -(2,6)-levan-type fructans have a molecular-weight-dependent modulatory effect on Toll-like receptor signalling. *Food & Function*, 15, 676–688, 2024.
- BARDIN, L. *Análise do conteúdo*. Edições 70, 2016.
- BARONE, J. R. MEDYNETS, M. (2007). Thermally processed levan polymers. *Carbohydrate Polymers*, 69, 554–561, 2007.
- BELGHITH, K.S. *et al.* Microbial production of levansucrase for synthesis of fructooligosaccharides and levan. *International Journal of Biological Macromolecules*, 50(2), 451–458, 2012.
- BOUALLEGUE, A. *et al.* (2019). Levan from a new isolated *Bacillus subtilis* AF17: Purification, structural analysis and antioxidant activities. *International Journal of Biological Macromolecules*, 144, 316–324, 2019.
- BYUN, B. Y., LEE, S. J., MAH, J. H. Antipathogenic activity and preservative effect of levan (β -2,6-fructan), a multifunctional polysaccharide. *International Journal of Food Science and Technology*, 49(1), 238–345, 2014.
- CAMPANINI, B.D. ROCHA, M.B. O teatro na educação brasileira para a construção do pensamento científico: um estudo na formação inicial de professores. *Ciência & Educação*, 27, 1–17, 2021.
- CHOI, W.I. *et al.* An injectable and physical levan-based hydrogel as a dermal filler for soft tissue augment. *Biomaterials Science*, 10, 1–12, 2018.
- DAHECH, I. *et al.* (2011). Antidiabetic activity of levan polysaccharide in alloxan-induced diabetic rats. *International Journal of Biological Macromolecules*, 49(4), 742–746, 2011.

- DOMŻAŁ-KĘDZIA, M. *et al.* Fermentation parameters and conditions affecting levan production and its potential applications in cosmetics. *Bioorganic Chemistry*, 1–8, 2019.
- ESAWY, M.A. *et al.* Production of levansucrase from novel honey *Bacillus subtilis* isolates capable of producing antiviral levans. *Carbohydrate Polymers*, 86(2), 823–830, 2011.
- FIUME, M. M. *et al.* Safety assessment of microbial polysaccharide gums as used in cosmetics. *International Journal of Toxicology*, 35 (1), 5S–49S, 2016.
- ERGINER, M. *et al.* Exploring the potential of *Halomonas* levan and its derivatives as active ingredients in cosmeceutical and skin regenerating formulations. *International Journal of Biological Macromolecules*, 240, 1–13, 2023.
- FREITAS, F., ALVES, V.D., REIS, M.A.M. Advances in bacterial exopolysaccharides: From production to biotechnological applications. *Trends in Biotechnology*, 29(8), 388–398, 2011.
- HELENAS, J.K. *et al.* Development of Facial Cosmetic Formulations Using Microbial Levan in Association with Plant-Derived Compounds Using Simple Lattice Design. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 66, 1–11, 2023.
- HWANG, Y. *et al.* (2021). Hydroxyapatite-embedded levan composite hydrogel as an injectable dermal filler for considerable enhancement of biological efficacy. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 104, 491–499, 2021.
- KANG, S.A. *et al.* (2009). Levan: applications and perspectives. In: Rehm, B. H. A. (ed.), *Microbial production of biopolymers and polymer precursors: applications and perspectives*. Caister Academic Press, 145–161, 2009.
- KAZIM, A.R., ALLAMI, A.R.H., RADIF, H.M. Study the effect of levan produced from *Pseudomonas putida* on phagocytic activity. *Current Research in Microbiology and Biotechnology*, 5 (05), 1258-1265, 2017.
- KIM, K.H. Cosmeceutical properties of levan produced by *Zymomonas mobilis*. *Journal of Cosmetic Science*, 56, 395–406, 2005.
- KIM, Y.H. *et al.* (2012). Study on the synthesis of modified levan and its properties on the hair. *International Federation of Societies of Cosmetic Chemists*, Johannesburg, South Africa, Poster Session 5, Number 302, 2012.
- LEWIŃSKA, A. *et al.*, Targeted Hybrid Nanocarriers as a System Enhancing the Skin Structure. *Molecules*, 26, 1063, 1-20, 2021.
- NAIR, R. CHOUDHURY, A.R. Synthesis and rheological characterization of a novel shear thinning levan gellan hydrogel. *International Journal of Biological Macromolecules*, 159, 922–930, 2020.
- OSMAN, A., ONER, E.T. EROGLU, M.S. Novel levan and pNIPA temperature sensitive hydrogels for 5-ASA controlled release. *Carbohydrate Polymers*, 165, 61–70, 2017.
- ÖNER, E.T., HERNÁNDEZ, L. COMBIE, J. (2016). Review of Levan polysaccharide: From a century of past experiences to future prospects. *Biotechnology Advances*, 34(5), 827–844, 2016.

- PENG, J. *et al.* Preparation of a novel water-soluble gel from *Erwinia amylovora* levan. *International Journal of Biological Macromolecules*, 122, 469–478, 2019.
- QUEIROZ, E.A.I.F. *et al.* Levan promotes antiproliferative and pro-apoptotic effects in MCF-7 breast cancer cells mediated by oxidative stress. *International Journal of Biological Macromolecules*, 102, 565–570, 2017.
- REPORT. Safety assessment of microbial polysaccharide gums as used in cosmetics. *Cosmetic Ingredient Reviews (CIR)*, 1–52, 2012.
- SIQUEIRA, E.C. *et al.* (2017). Development of nanoparticles from a biofabricated fructose polymer. *Tissue Engineering: Part A*, 23, S-154. Supplement 1, 2017^a Mary Ann Liebert, Inc. 10.1089/ten.tea.2017.29003.abstracts.
- SIQUEIRA, E.C. Desenvolvimento de sistemas nanoestruturados à base do biopolímero levana contendo paromomicina. 2019, 161 f. Tese (Doutorado em Biologia Celular e Molecular Aplicada) - Universidade de Pernambuco, Recife.
- SIQUEIRA, E.C. *et al.* Levan-based nanostructured systems: An overview. *International Journal of Pharmaceutics*, 580, 1–11, 2020.
- SIQUEIRA, E.C. HOULLOU, L.M. Co-production of polyhydroxyalkanoates and levan by *Halomonas smyrnensis* AAD6^T. *Research, Society and Development*, 11(16), 1–10, 2022.
- SIQUEIRA, E.C. HOULLOU, L.M. Sequential production of two biopolymers-polyhydroxyalkanoate and levan by microbial fermentation. *Research, Society and Development*, 12(3), 1–11, 2023.
- SIQUEIRA, E.C. *et al.* Polyhydroxyalkanoates and exopolysaccharides: An alternative for valuation of the co-production of microbial biopolymers. *Biotechnology Progress*, 1–9, 2023.
- SIQUEIRA, E.C. ÖNER, E.T. Co-production of levan with other high-value bioproducts: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 235, 1–13, 2023.
- SIQUEIRA, E.C., DOBOSZEWSKI, B. Atividade antioxidante *in vitro* e *in vivo* de levana: Uma visão geral de pesquisas recentes. *Research, Society and Development*, 13 (10), 1–19, 2024.
- SILVA, R.T. *et al.* (2022). Development of a facial biocosmetic containing levan, almond and cinnamon oils with antioxidant and moisturizing properties. *Acta Scientiarum Biological Sciences*, 44, 1–9, 2022.
- SRIKANTH, R. *et al.* Review on production, characterization and applications of microbial levan. *Carbohydrate Polymers*, 120, 102–114, 2015a.
- SRIKANTH, R. *et al.* Antioxidant and anti-inflammatory levan produced from *Acetobacter xylinum* NCIM2526 and its statistical optimization. *Carbohydrate Polymers*, 123, 8–16, 2015b.
- WASILEWSKI, T. *et al.* Application of Levan-Rich Digestate Extract in the Production of Safe-to-Use and Functional Natural Body Wash Cosmetics. *Molecules*, 27, 2793, 1–22, 2022.