RESSALVA

Atendendo solicitação do autor,
o texto completo desta tese será
disponibilizado somente a partir
de 25/03/2028

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
INTERUNIDADES ENTRE A FACULDADE DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS - ARARAQUARA - SP E O INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS, LETRAS E CIÊNCIAS EXATAS - SÃO JOSÉ DO RIO PRETO - SP

JACKSON ANDSON DE MEDEIROS

Saccharomyces cerevisiae COMO MATRIZ ESTRUTURAL E AGENTE INTERFACIAL EM FILMES E REVESTIMENTOS BIODEGRADÁVEIS EMULSIFICADOS ATIVOS

ARARAQUARA
2026

JACKSON ANDSON DE MEDEIROS

Saccharomyces cerevisiae COMO MATRIZ ESTRUTURAL E AGENTE INTERFACIAL EM FILMES E REVESTIMENTOS BIODEGRADÁVEIS EMULSIFICADOS ATIVOS

Tese apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Interunidades entre a Faculdade de Ciências Farmacêuticas - Araraquara - SP e o Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas - São José do Rio Preto - SP, para obtenção do título de Doutor em Alimentos, Nutrição e Engenharia de Alimentos.

Área de Concentração: Alimentos e Nutrição

Orientada: Prof.ª. Drª. Henriette Monteiro Cordeiro de Azeredo

Coorientador: Prof. Dr. Caio Gomide Otoni

ARARAQUARA

2026

M488s

Medeiros, Jackson Andson

Saccharomyces cerevisiae como matriz estrutural e agente interfacial em filmes e revestimentos biodegradáveis emulsificados ativos / Jackson Andson Medeiros. -- , 2026

91 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto,

Orientadora: Henriette Monteiro Cordeiro Azeredo

Coorientador: Caio Gomide Otoni

1. Saccharomyces cerevisiae. 2. Filmes biodegradáveis. 3. Emulsão Pickering. 4. Embalagem ativa. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Validou-se rota escalonável (tratamento hidrotérmico e casting) para conversão de biomassa de *S. cerevisiae* em matriz de embalagem biodegradável e revestimento ativo (emulsão Pickering de óleo essencial de alho). O estudo promove economia circular, reduz a dependência de polímeros fósseis e prolonga a vida útil de alimentos (*clean label*)

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

A scalable route (hydrothermal treatment and casting) was validated for converting *S. cerevisiae* biomass into a biodegradable packaging matrix and active coating (garlic essential oil Pickering emulsion). The study promotes circular economy, reduces reliance on fossil polymers, and extends food shelf life (*clean label*).

JACKSON ANDSON DE MEDEIROS

Saccharomyces Cerevisiae COMO MATRIZ ESTRUTURAL E AGENTE INTERFACIAL EM FILMES E REVESTIMENTOS BIODEGRADÁVEIS EMULSIFICADOS ATIVOS

Tese apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Interunidades entre a Faculdade de Ciências Farmacêuticas - Araraquara - SP e o Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas - São José do Rio Preto - SP, para obtenção do título de Doutor em Alimentos, Nutrição e Engenharia de Alimentos.

Área de Concentração: Alimentos e Nutrição

Data da defesa: 25/03/2026

Banca Examinadora:

_____

Prof.ª. Drª. Henriette Monteiro Cordeiro de Azeredo
Embrapa instrumentação - São Carlos - SP

_____

Prof.ª. Drª. Daniela Cardoso Umbelino Cavallini,
UNESP - Araraquara - SP

_____

Prof.ª. Drª. Solange de Sousa
UFPB - Bananeiras - PB

_____

Prof. Dr. Hernane da Silva Barud
UNIARA - Araraquara - SP

Dedico esta tese à Jasmine, o maior e melhor presente que recebi durante o meu doutorado.

AGRADECIMENTOS

A Deus, acima de tudo, por ser minha fortaleza e refúgio. Agradeço por ter me sustentado, renovado minha fé e me levantado nos momentos mais difíceis desta caminhada. Sem Sua graça e permissão, esta conquista não seria possível.

À minha esposa, Wallerya, meu amor e meu alicerce. Agradeço profundamente por todo o companheirismo, pela paciência infinita e pelo apoio incondicional durante os longos dias de estudo e ausência. Você foi fundamental para que eu não desistisse; esta vitória também é sua.

Aos meus pais, Jalmir e Neusa, por serem meus primeiros exemplos e por sempre acreditarem em mim, muitas vezes mais do que eu mesmo. Obrigado por todo o sacrifício, pelos valores ensinados e pelo incentivo constante que me trouxeram até aqui.

À minha família e à minha filha Jasmine, por serem a luz e a motivação diária para que eu buscasse ser alguém melhor.

À Profa. Dra. Henriette Monteiro Cordeiro de Azeredo, pela orientação e ensinamentos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de pesquisa (Processo nº 161930/2021-2).

RESUMO

Investigou-se o potencial da biomassa de *Saccharomyces cerevisiae* como matriz formadora de filme e partícula anfifílica para o desenvolvimento de filmes e revestimentos ativos sustentáveis, visando sua aplicação na conservação de pães. A pesquisa foi estruturada em duas etapas principais. Inicialmente, avaliou-se o efeito de um pré-tratamento hidrotérmico em autoclave sob diferentes valores de pH (4, 7 e 10) na produção de filmes via *casting* contínuo. Os resultados demonstraram que o tratamento neutro (pH 7). apresentou maior resistência à tração e maior conteúdo de matéria insolúvel, o que indica a formação de uma rede polimérica coesa e resistente à desintegração aquosa. Na segunda etapa, incorporou-se óleo essencial de alho (OEA) por meio de uma emulsão do tipo Pickering, utilizando as próprias células da levedura como agente estabilizante. A levedura foi capaz de estabilizar a emulsão. A presença das células íntegras aumentou a hidrofobicidade superficial dos filmes, enquanto a emulsão reduziu significativamente a permeabilidade ao vapor de água. O filme ativo demonstrou barreira à radiação ultravioleta e atividade antimicrobiana frente a *Staphylococcus aureus* e *Salmonella* sp., efeito mantido mesmo após 30 dias da produção do filme. Por fim, as dispersões filmogênicas foram aplicadas como revestimentos em pães tipo bisnaguinha, objetivando a substituição de conservantes químicos. O revestimento ativo (com OEA) inibiu o crescimento fúngico visível por 16 dias, superando significativamente o controle (6 dias). Adicionalmente, o revestimento contendo apenas a matriz de levedura destacou-se no retardo do envelhecimento físico (*staling*), preservando a maciez instrumental por 15 dias de armazenamento e obtendo aceitação sensorial equivalente à do produto sem revestimento. Contudo, a incorporação da OEA impactou negativamente a intenção de compra devido ao aroma e sabor residuais. Conclui-se que a biomassa de *S. cerevisiae* pode atuar como fonte de biopolímeros na produção de filmes e revestimentos e estabilizar emulsões, consistindo em uma tecnologia viável, de baixo custo e escalonável para estender a vida útil de produtos panificados.

Palavras-chave: *Saccharomyces cerevisiae*; biomassa; emulsão Pickering; óleo essencial de alho; embalagem ativa.

ABSTRACT

The potential of *Saccharomyces cerevisiae* biomass as a film-forming matrix and amphiphilic particle for the development of sustainable active films and coatings was investigated, aiming at its application in bread preservation. The research was structured into two main stages. Initially, the effect of a hydrothermal pre-treatment in an autoclave under different pH values (4, 7, and 10) on the production of films via continuous casting was evaluated. The results demonstrated that the neutral treatment (pH 7) exhibited higher tensile strength and a higher content of insoluble matter, which indicates the formation of a cohesive polymeric network resistant to aqueous disintegration. In the second stage, garlic essential oil (GEO) was incorporated through a Pickering-type emulsion, using the yeast cells themselves as the stabilizing agent. The yeast was capable of stabilizing the emulsion. The presence of intact cells increased the surface hydrophobicity of the films, while the emulsion significantly reduced water vapor permeability. The active film demonstrated a barrier to ultraviolet radiation and antimicrobial activity against *Staphylococcus aureus* and *Salmonella* sp., an effect maintained even 30 days after film production. Finally, the filmogenic dispersions were applied as coatings on *bisnaguinha*-type bread, aiming to replace chemical preservatives. The active coating (with GEO) inhibited visible fungal growth for 16 days, significantly outperforming the control (6 days). Additionally, the coating containing only the yeast matrix stood out in delaying staling, preserving instrumental softness for 15 days of storage and obtaining sensory acceptance equivalent to that of the uncoated product. However, the incorporation of GEO negatively impacted purchase intention due to its residual aroma and flavor. It is concluded that *S. cerevisiae* biomass can act as a source of biopolymers in the production of films and coatings and stabilize emulsions, consisting of a viable, low-cost, and scalable technology to extend the shelf life of bakery products.

Keywords: *Saccharomyces cerevisiae*; biomass; Pickering emulsion; garlic essential oil; active packaging.

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO**	**8**
2	**POTENCIAL DA *Saccharomyces cerevisiae* NO DESENVOLVIMENTO DE FILMES E REVESTIMENTOS EMULSIONADOS PARA APLICAÇÕES NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS**	**10**
3	**FILMES DE BIOMASSA DE *Saccharomyces cerevisiae* PRÉ-TRATADA HIDROTERMICAMENTE PRODUZIDOS POR CASTING CONTÍNUO**	**25**
4	**BIOMASSA DE *Saccharomyces cerevisiae* COMO MATRIZ FILMOGÊNICA E ESTABILIZANTE DE EMULSÃO PICKERING EM FILMES E REVESTIMENTOS ATIVOS**	**46**
5	**CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS**	**86**
	REFERÊNCIAS	**87**

1 INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva de alimentos enfrenta dois grandes desafios centrais: assegurar a qualidade dos produtos até que cheguem à mesa do consumidor e cumprir a responsabilidade socioambiental de reduzir a dependência de recursos não renováveis. Nesse contexto, boa parte do impacto gerado reside nas embalagens. Conforme destacam NCUBE *et al*., (2021), embora esses materiais sejam essenciais para a indústria, sua maioria é composta por insumos não biodegradáveis e de fontes não renováveis, o que os torna ambientalmente prejudiciais. Diante dessa dependência, é urgente o desenvolvimento e a implementação de soluções sustentáveis no setor. Neste cenário, os filmes e revestimentos comestíveis tornam-se alternativas sustentáveis. Contudo, ao contrário do que sugere o senso comum, a proposta tecnológica desses materiais não consiste na substituição completa e imediata das embalagens poliméricas convencionais, mas na atuação complementar, agregando funcionalidades específicas ao sistema de acondicionamento (AZEREDO *et al*., 2022).

Os avanços na produção de filmes e revestimentos à base de biopolímeros não visam apenas substituir o plástico, mas sim agregar características funcionais a esses materiais (XIA *et al*., 2025). Podendo atuar como veículo para probióticos (MEDEIROS *et al.*, 2022) ou incorporar características específicas, como atividade antimicrobiana (HAN; FLOROS, 1997), proteção contra radiação UV (SILVA *et al.*, 2024) e capacidade antioxidante (AKACHAT *et al.*, 2025). Embora o desenvolvimento de filmes e revestimentos já esteja bem difundido na literatura, existe uma lacuna quando se trata de novas fontes para sua produção. A levedura *Saccharomyces cerevisiae*, além de ser abundante e comumente descartada como subproduto das indústrias cervejeira e de etanol, possui uma composição capaz de formar filmes biopoliméricos (DELGADO *et al.*, 2016, 2021, 2022; PELTZER *et al.*, 2018). Para além da capacidade de formação de filmes, a levedura atua como partícula estabilizadora de emulsões. Devido à natureza anfifílica de sua parede celular, ela possui a capacidade única de atuar como agente interfacial, estabilizando emulsões do tipo Pickering sem a necessidade de surfactantes sintéticos. Essa característica é estratégica para a área de embalagens, pois viabiliza a incorporação de compostos bioativos hidrofóbicos, como óleos essenciais, em matrizes hidrofílicas (FIROOZMAND; ROUSSEAU, 2016).

Diante disto os objetivos do estudo foram obter de filmes à base de biomassa integral de *Saccharomyces cerevisiae* por meio de tratamento hidrotérmico em autoclave, visando à escalabilidade industrial através do método de *casting* contínuo. Além disso, investigar o potencial da biomassa integral de *S. cerevisiae* tanto como matriz biopolimérica quanto como partícula estabilizadora de emulsão no desenvolvimento de filmes e revestimentos emulsionados ativos. De forma específica, o trabalho avaliou o efeito do tratamento hidrotérmico sob diferentes condições de pH (4, 7 e 10) nas propriedades dos filmes. Adicionalmente, a pesquisa investigou a incorporação de uma emulsão Pickering de óleo essencial de alho, estabilizada pelas próprias células da levedura, para formação de um filme ativo e como revestimento aplicado em pães tipo bisnaguinha.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS

O emprego do tratamento hidrotérmico em autoclave, associado ao processo de *casting* contínuo, demonstrou ser uma rota viável e escalonável para a produção de filmes à base de biomassa de *Saccharomyces cerevisiae*. O processamento em meio alcalino (pH 10) promoveu alterações estruturais importantes, gerando filmes com maior alongamento na ruptura, maior hidrofobicidade superficial e uma degradação térmica mais lenta e controlada; contudo, esses benefícios ocorreram à custa de uma maior solubilidade em água e da formação de uma estrutura interna menos coesa. Por sua vez, a condição neutra (pH 7) preservou de forma mais efetiva a integridade da matriz de biomassa, o que foi evidenciado pelo maior teor de matéria insolúvel, maior resistência à tração e manutenção da permeabilidade ao vapor de água. Já o tratamento em meio ácido (pH 4) resultou em matrizes com menor estabilidade mecânica e térmica.

Conclui-se, portanto, que o sistema biopolimérico desenvolvido apresenta elevado potencial tecnológico e sustentável para o design de embalagens e proteção de alimentos, demandando apenas adequações no perfil sensorial do agente ativo para que se alcance a plena viabilidade comercial.

Diante dos resultados obtidos, sugerem-se como trabalhos futuros:

1. Realizar novos estudos ajustando a concentração do óleo essencial de alho para valores inferiores a 5% (base seca), a fim de avaliar o impacto na aceitação sensorial e na intenção de compra, buscando um ponto de equilíbrio entre a atividade antimicrobiana e a melhoria do sabor e aroma.
2. Avaliar a possibilidade de uso da matriz filmogênica e da emulsão Pickering em novos produtos alimentícios (como frutas, queijos e carnes), com foco na validação de sua capacidade de proteção UV e de sua ação antimicrobiana *in vivo* frente a diferentes grupos de microrganismos deteriorantes.
3. Investigar características físico-químicas e bioativas da matriz desenvolvida que ainda não foram totalmente exploradas, como o seu potencial antioxidante para atuar na prevenção da oxidação lipídica dos alimentos.
4. Aprofundar os estudos utilizando leveduras residuais oriundas de processos agroindustriais (como resíduos cervejeiros e de destilarias de etanol), verificando como as variações na composição dessa biomassa afetam as características dos filmes e revestimentos produzidos

REFERÊNCIAS

AKACHAT, B.; HIMED, L.; SALAH, M.; D'ELIA, M.; RASTRELLI, L.; BARKAT, M. Development of Pectin-Based Films with Encapsulated Lemon Essential Oil for Active Food Packaging: Improved Antioxidant Activity and Biodegradation. Foods 2025, Vol. 14, Page 353, [*s. l.*], v. 14, n. 3, p. 353, 2025. Disponível em: https://www.mdpi.com/2304-8158/14/3/353/htm. Acesso em: 4 fev. 2026.

AZEREDO, H. M. C.; OTONI, C. G.; MATTOSO, L. H. C. Edible films and coatings – Not just packaging materials. Current Research in Food Science, [*s. l.*], v. 5, p. 1590–1595, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1533/9780857097385.2.819. Acesso em: 21 fev. 2026.

DELGADO, J. F.; LOPES, F. G.; PELTZER, M. A. Antioxidant and Antimicrobial Characterization of Active Films Based on Yeast Biomass and Thymol. Food Biophysics 2022 17:4, [*s. l.*], v. 17, n. 4, p. 473–483, 2022. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s11483-022-09736-9. Acesso em: 2 fev. 2026.

DELGADO, J. F.; SALVAY, A. G.; DE LA OSA, O.; WAGNER, J. R.; PELTZER, M. A. Impact of the film-forming dispersion pH on the properties of yeast biomass films. Journal of the Science of Food and Agriculture, [*s. l.*], v. 101, n. 13, p. 5636–5644, 2021. Disponível em: /doi/pdf/10.1002/jsfa.11216. Acesso em: 14 nov. 2025.

DELGADO, J. F.; SCENI, P.; PELTZER, M. A.; SALVAY, A. G.; DE LA OSA, O.; WAGNER, J. R. Development of innovative biodegradable films based on biomass of Saccharomyces cerevisiae. Innovative Food Science and Emerging Technologies, [*s. l.*], v. 36, p. 83–91, 2016.

FIROOZMAND, H.; ROUSSEAU, D. Microbial cells as colloidal particles: Pickering oil-in-water emulsions stabilized by bacteria and yeast. Food Research International, [*s. l.*], v. 81, p. 66–73, 2016. Disponível em: Acesso em: 7 mar. 2024.

HAN, J. H.; FLOROS, J. D. Casting antimicrobial packaging films and measuring their physical properties and antimicrobial activity. Journal of Plastic Film and Sheeting, [*s. l.*], v. 13, n. 4, p. 287–298, 1997. Disponível em: /doi/pdf/10.1177/875608799701300405?download=true. Acesso em: 7 fev. 2026.

MEDEIROS, J. A.; OTONI, C. G.; NIRO, C. M.; SIVIERI, K.; BARUD, H. S.; GUIMARÃES, F. E. G.; ALONSO, J. D.; AZEREDO, H. M. C. Alginate films as carriers of probiotic bacteria and Pickering emulsion. Food Packaging and Shelf Life, [*s. l.*], v. 34, p. 100987, 2022. Disponível em: Acesso em: 7 mar. 2024.

NCUBE, L. K.; UDE, A. U.; OGUNMUYIWA, E. N.; ZULKIFLI, R.; BEAS, I. N. An overview of plasticwaste generation and management in food packaging industries. Recycling, [*s. l.*], v. 6, n. 1, p. 1–25, 2021.

PELTZER, M. A.; SALVAY, A. G.; DELGADO, J. F.; DE LA OSA, O.; WAGNER, J. R. Use of Residual Yeast Cell Wall for New Biobased Materials Production: Effect of Plasticization on Film Properties. Food and Bioprocess Technology, [*s. l.*], v. 11, n. 11, p. 1995–2007, 2018.

SILVA, R. D.; PACHECO, T. F.; DE SANTI, A. D.; MANARELLI, F.; BOZZO, B. R.; BRIENZO, M.; OTONI, C. G.; AZEREDO, H. M. C. From bulk banana peels to active materials: Slipping into bioplastic films with high UV-blocking and antioxidant properties. Journal of Cleaner Production, [*s. l.*], v. 438, p. 140709, 2024. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652624001562. Acesso em: 24 nov. 2025.

XIA, L.; GUI, T.; WANG, J.; TIAN, H.; WANG, Y.; NING, L.; WU, L. Bio-Based Coatings: Progress, Challenges and Future Perspectives. Polymers 2025, Vol. 17, Page 3266, [*s. l.*], v. 17, n. 24, p. 3266, 2025. Disponível em: https://www.mdpi.com/2073-4360/17/24/3266/htm. Acesso em: 2 mar. 2026.