



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ  
CAMPUS DE CASCAVEL  
CENTRO DE CIÊNCIAS MÉDICAS E FARMACÊUTICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS  
FARMACÊUTICAS

**CONSERVAÇÃO DE FORMULAÇÃO TÓPICA UTILIZANDO MICOCINAS  
PRODUZIDAS POR *Wickerhamomyces anomalus***

**ELOIZA CRISTINA MARTELLI**

**CASCAVEL**

**2022**

**ELOIZA CRISTINA MARTELLI**

**CONSERVAÇÃO DE FORMULAÇÃO TÓPICA UTILIZANDO MICOCINAS  
PRODUZIDAS POR *Wickerhamomyces anomalus***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, *campus* de Cascavel, em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Farmacêuticas na linha de pesquisa Prospecção de Microrganismos e Substâncias Bioativas com Aplicações Biotecnológicas e em Saúde.

Orientador: Prof. Dr. Rinaldo Ferreira Gandra

**CASCADEL**

**2022**

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Martelli, Eloiza Cristina

Conservação de formulação tópica utilizando micocinas produzidas por *Wickerhamomyces anomalus* / Eloiza Cristina Martelli; orientador Rinaldo Ferreira Gandra. -- Cascavel, 2022.

46 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Cascavel) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Médicas e Farmacêuticas, Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas, 2022.

1. Atividade antimicrobiana. 2. Teste de eficácia antimicrobiana. 3. Sistema conservante. 4. Gel dermatológico. I. Gandra, Rinaldo Ferreira, orient. II. Título.

Dissertação revisada conforme as normas de redação do Programa de Pós Graduação em Ciências Farmacêuticas por Vanessa Raini de Santana, RG 9.925.311-8, revisora habilitada, graduada em Letras pela Universidade do Oeste do Paraná.

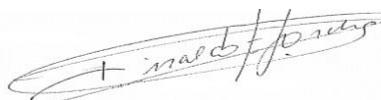
**ELOIZA CRISTINA MARTELLI**

**CONSERVAÇÃO DE FORMULAÇÃO TÓPICA UTILIZANDO MICOCINAS  
PRODUZIDAS POR *Wickerhamomyces anomalus***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, *campus* de Cascavel, em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Farmacêuticas na linha de pesquisa Prospecção de Microrganismos e Substâncias Bioativas com Aplicações Biotecnológicas e em Saúde.

Orientador: Prof. Dr. Rinaldo Ferreira Gandra

**BANCA EXAMINADORA:**



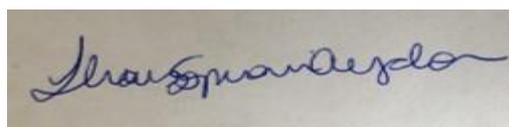
---

Prof. Dr. Rinaldo Ferreira Gandra  
Universidade Estadual do Oeste do  
Paraná  
UNIOESTE  
Orientador



---

Prof. Dr. Marcos Ereno Auler  
Universidade Estadual do Centro Oeste  
UNICENTRO



---

Prof. Dr.ª Thais Soprani Ayala  
Universidade Estadual do Oeste do  
Paraná  
UNIOESTE

## ELOIZA CRISTINA MARTELLI

### BIOGRAFIA RESUMIDA

Eloiza Cristina Martelli, natural de Medianeira, Paraná, Brasil, nascida no dia 01 de fevereiro de 1997, formou-se em Farmácia na Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, *campus* de Cascavel em Janeiro de 2020. Especialista em Farmacologia e Interações Medicamentosas pelo Centro Universitário Internacional – UNINTER (2021). Ingressou no Programa de Pós-graduação *stricto sensu* em nível de mestrado em Ciências Farmacêuticas no ano de 2020. Foi bolsista do Programa (2021-2022) pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES. Desenvolve projeto experimental de dissertação junto à linha Prospecção de Microrganismos e Substâncias Bioativas com Aplicações Biotecnológicas e em Saúde, orientada pelo Dr. Rinaldo Ferreira Gandra.

*“Deus nos fez perfeitos e não escolhe os capacitados, capacita os escolhidos.  
Fazer ou não fazer algo só depende de nossa vontade e perseverança.”*  
Albert Einstein

A Deus,  
À minha família.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pelo dom da vida e por ser minha fortaleza de força e amparo nos momentos de dificuldade.

Aos meus pais, Lucia e Enio, que sempre me apoiaram nos estudos. Obrigada pela força, coragem, conselhos, consolos e por sempre me incentivarem a continuar. Obrigada por fazerem do impossível, possível. Vocês são meus maiores exemplos de humildade e honestidade. Sou imensamente grata por tudo, sem vocês eu não chegaria até aqui.

À minha família, que sempre me apoiou e me deu muito amor. Agradeço de coração à minha tia Marili, que nunca mediu esforços para me ajudar e incentivar. Você foi essencial nesta caminhada.

Ao meu parceiro de vida, José Guilherme que esteve comigo durante toda a trajetória, sempre segurando a minha mão, compreendendo a ausência e angústia de dias conturbados, me dando força e coragem para continuar e me fez confiar que tudo daria certo.

Aos meus colegas de laboratório, Jessica C., Jéssica V., Keila e Rafaela que me fizeram companhia durante os dias no laboratório.

Ao meu orientador Rinaldo, que me auxiliou nesta caminhada. Agradeço pela oportunidade, ensinamentos e amizade.

Às amigas que fiz em Cascavel, especialmente minha amiga Ana Cláudia que sempre me deu força, consolo e amparo nos momentos de dificuldade.

À professora Helena, pelo auxílio durante o desenvolvimento das metodologias. À professora Lilian e professor Alexandre da Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI) por cederem as cepas utilizadas neste trabalho.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), pela bolsa concedida durante o mestrado e pelo apoio para a realização deste trabalho.

Aos professores do curso de Farmácia e do Programa de Ciências Farmacêuticas da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, obrigada pelo conhecimento concedido.

## CONSERVAÇÃO DE FORMULAÇÃO TÓPICA UTILIZANDO MICOCINAS PRODUZIDAS POR *Wickerhamomyces anomalus*

### RESUMO

Após relatos de reações adversas e desregulação endócrina causada por alguns conservantes, como os parabenos, amplamente utilizados em formulações tópicas e medicamentos, a indústria cosmética e farmacêutica enfrenta a falta considerável de aditivos com menor toxicidade, desencadeando o interesse na busca pelo desenvolvimento de novos sistemas conservantes seguros e eficazes. Substâncias naturais com amplo espectro de atividade antimicrobiana e de baixa toxicidade são alternativas interessantes para a pesquisa de novos conservantes. As micocinas são substâncias naturais produzidas por leveduras *killer*. Possuem potencial de inibir bactérias, fungos filamentosos e leveduriformes com amplo espectro de ação, baixa toxicidade e baixa probabilidade de indução à resistência microbiana. *Wickerhamomyces anomalus* é uma levedura produtora de micocinas com vasto potencial de aplicação industrial. Este trabalho teve como objetivo verificar: a atividade conservante de micocinas produzidas por *W. anomalus* quando incorporadas em gel dermatológico, estabilidade das micocinas na formulação e potencial de irritação de membrana. Realizaram-se ensaios de determinação de  $\beta$ -glucanases, ensaio de microdiluição, *Challenge Test* para avaliar a eficácia de ação conservante frente aos microrganismos padrão: *Escherichia coli* (ATCC 8739), *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 9027), *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538), *Candida albicans* (ATCC 10231) e *Aspergillus niger* (ATCC 16404), testes de estabilidade: preliminar, acelerada, normal e *shelf life* e ensaio de irritabilidade de membrana em modelo organotípico. O sobrenadante WA92 apresentou atividade de 3,80 U/mg. No ensaio de microdiluição, todos os microrganismos padrão testados foram sensíveis às micocinas de WA92 em sua concentração máxima de 3,80 U/mg de  $\beta$ -glucanases. *C. albicans* foi totalmente inibida na concentração de 0,24 U/mg, *P. aeruginosa* 0,95 U/mg, *S. aureus* 0,48 U/mg, *E. coli* e *A. níger* 1,90 U/mg. No *Challenge Test*, os critérios de eficácia conservante foram cumpridos para bactérias, fungo filamentoso e leveduriforme. As formulações incorporadas com micocinas foram estáveis nas diferentes condições de armazenamento em que foram submetidas. Assim, os resultados descritos neste trabalho indicam que as micocinas produzidas por *W. anomalus* WA92 são uma substância com ação antimicrobiana promissora e segura para o desenvolvimento de novos sistemas conservantes em formulações.

**Palavras chaves:** Toxinas *killer*; Atividade antimicrobiana; Estabilidade; Teste de eficácia antimicrobiana; Sistema conservante; Gel dermatológico.

# PRESERVATION OF TOPICAL FORMULATION USING MYCOCINS PRODUCED BY *Wickerhamomyces anomalus*

## ABSTRACT

After reports of adverse reactions and endocrine disruption caused by some preservatives such as parabens, widely used in topical formulations and medicines, the cosmetic and pharmaceutical industry faces a considerable lack of additives with less toxicity, triggering interest in the search for the development of new preservative systems safe and effective. Natural substances with a broad spectrum of antimicrobial activity and low toxicity are interesting alternatives for the research of new preservatives. Mycocins are natural substances produced by *killer yeasts*. They have the potential to inhibit bacteria, filamentous fungi and yeast with a broad spectrum of action, low toxicity and low probability of inducing microbial resistance. *Wickerhamomyces anomalus* is a mycocin-producing yeast with vast potential for industrial application. This study aimed to verify the preservative activity of mycocins produced by *W. anomalus* when incorporated into dermatological gels, stability of mycocins in the formulation and membrane irritation potential.  $\beta$ -glucanases determination assays,  $\beta$ -glucanase assay, microdilution, Challenge Test to evaluate the effectiveness of preservative action against standard microorganisms: *Escherichia coli* (ATCC 8739), *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 9027), *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538), *Candida albicans* (ATCC 10231) and *Aspergillus niger* (ATCC 16404), stability tests: preliminary, accelerated, normal and *shelf life* and membrane irritability assay in organotypic model. The WA92 supernatant showed  $\beta$ -glucanase activity of 3.80 U/mg. In the microdilution assay, all standard microorganisms tested were sensitive to WA92 mycocins at their maximum concentration of 3.80 U/mg. *E. coli* and *A. niger* were totally inhibited at the concentration of 1.90 U/mg, *P. aeruginosa* 0.95 U/mg, *S. aureus* 0.48 U/mg and *C. albicans* 0.24 U/mg. In the *Challenge Test*, the preservative efficacy criteria were met for bacteria, filamentous fungus and yeast. The formulations incorporated with mycocins were stable under the different storage conditions to which they were submitted. Thus, the results described in this work indicate that the mycocins produced by *W. anomalus* WA92 are a promising and safe antimicrobial substance for the development of new preservative systems in formulations.

**Keywords:** Toxins killer; Antimicrobial activity; Stability; Antimicrobial efficacy test; Preservative system; Dermatological gel.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1 Leveduras <i>Killer</i> e o Sistema <i>Killer</i> .....	12
1.2 <i>Wickerhamomyces anomalus</i> .....	12
1.3 Atividade antimicrobiana das micocinas e mecanismo de ação .....	13
1.4 Toxicidade das micocinas .....	16
1.5 Formulações cosméticas .....	17
1.6 Sistemas conservantes utilizados em formulações, características ideais e indução da resistência microbiana .....	18
1.7 Parabenos e a problemática referente a sua toxicidade .....	20
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>22</b>
2.1 Objetivo geral .....	22
2.2 Objetivos específicos .....	22
<b>3. CAPÍTULO 1: Conservação de formulação tópica utilizando micocinas produzidas por <i>Wickerhamomyces anomalus</i> .....</b>	<b>24</b>
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>41</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>42</b>

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Leveduras *Killer* e o Sistema *Killer*

Algumas cepas de leveduras são capazes de produzir micocinas, denominadas também como toxinas *killer*. Tais substâncias são metabólitos secundários que se caracterizam como glicoproteínas de baixo peso molecular capazes de inibir outras leveduras sem a necessidade de contato direto célula-célula, sem inibir seu próprio organismo (CECARINI et al., 2019). Assim, constituem o fenômeno chamado Sistema *Killer*, o qual representa um modelo de competição biológica por nutrientes entre os organismos fúngicos (GUO et al., 2013; MAGLIANI et al., 1997).

Inicialmente descrito por Bevan & Macover (1963), o Sistema *Killer* foi descoberto a partir das linhagens de *Saccharomyces cerevisiae*, o qual classificou as leveduras em três fenótipos: sensível, neutra e *killer*. Essa classificação foi baseada diante da observação de que células sensíveis, quando cultivadas em meio de cultura com células *killer*, eram inativadas. A partir disso, leveduras do gênero *Candida*, *Cryptococcus*, *Debaryomyces*, *Hanseniaspora*, *Kluyveromyces*, *Metschnikowia*, *Wickerhamomyces*, *Ustilago*, *Williopsis* e *Zygosaccharomyces* foram designadas com o mesmo potencial de produção de micocinas (SCHMITT; BREINIG, 2002).

### 1.2 *Wickerhamomyces anomalus*

*Wickerhamomyces anomalus*, anteriormente conhecida como *Pichia anomala* e *Hansenula anomala*, passou a ser renomeada, devido ao aprimoramento e surgimento do sequenciamento de DNA. A determinação taxonômica, que anteriormente era realizada a partir do fenótipo seguindo as características morfológicas, assimilação de açúcares e capacidade de crescimento em certas condições, passou a ser realizada por meio de sequenciamento genético (KURTZMAN, 2011).

*W. anomalus* caracteriza-se por não possuir exigências nutricionais complexas e por resistir a ambientes hostis durante longos períodos de tempo, sendo altamente competitiva. É encontrada em diversos habitats, como cascas de frutas, plantas, águas residuais, ambientes marinhos e até em intestinos de insetos, característica essa que é atribuída ao fato de que a levedura é adaptável a condições extremas de estresse ambiental, possibilitando o seu desenvolvimento em diferentes fontes com

carbono, nitrogênio e fósforo, em variações de pH, baixa atividade de água e oxigênio e alta pressão osmótica (WALKER, 2011).

No que se refere à aplicação industrial, a levedura *W. anomalus* possui vasto potencial biotecnológico entre a indústria alimentícia, farmacêutica e na agricultura. Na indústria de alimentos, é utilizada na fermentação e no biocontrole como conservante natural de alimentos, a fim de evitar a refermentação e combater leveduras patogênicas e deteriorantes (MUCCILLI et al., 2013; OLSTORPE; PASSOTH, 2011). Algumas características, como a facilidade de adaptação ambiental e por serem consideradas seguras, fazem com que essas opções sejam ideais para controle de pragas em alimentos, como também alternativas aos fungicidas pós-colheitas (OLSTORPE; PASSOTH, 2011). Em relação às aplicações em ciências médicas, *W. anomalus* é utilizada no desenvolvimento de novas opções antimicóticas para terapia de infecções fúngicas humanas e de animais, assim como na biotopografia de leveduras patogênicas e fungos.

Infecção oportunista causada por *W. anomalus* foi relatada em 1995, levando alguns pesquisadores a considerarem que esta poderia ser um patógeno emergente. Apesar disso, na primeira década do século XX, menos de dez relatos publicados tratavam de infecções causadas por essa levedura, sendo considerada de baixa virulência (HAZEN, 1995; PASSOTH; OLSTORPE; SCHNÜRER, 2011). Segundo padrões da Autoridade Europeia para a Segurança de Alimentos (*European Food Safety Authority*), a *W. anomalus* obteve qualis 1 em nível de biossegurança, obtendo status de *Qualified Presumption of Safety* e sendo considerada segura para indivíduos humanos saudáveis (KURTZMAN, 2011; MUCCILLI et al., 2013).

Descreve-se que *W. anomalus* possa produzir tipos distintos de micocinas com massa molecular variando entre 8-300 kDa. O mecanismo de ação ainda não elucidado descreve atividade sobre a parede celular de leveduras degradando  $\beta$ -glucanos através da ação de  $\beta$ -1,3-glucanase (GIOVATI et al., 2018).

### **1.3 Atividade antimicrobiana das micocinas e mecanismo de ação**

A descoberta da penicilina em 1928 foi uma das mais revolucionárias para a medicina, salvando milhares de vidas em todo o mundo. No entanto, o uso irracional de antibióticos pela população excede o seu uso hospitalar. O uso de antibióticos para tratar doenças autolimitantes como resfriado comum aumentou, mesmo sabendo-se que antibióticos são ineficazes para tais (BOMBAYWALA et al., 2021).

O uso irracional e automedicação pode desencadear riscos à saúde humana e tornar os procedimentos médicos e de rotina uma ameaça à integridade da vida. Os grupos de maior risco incluem pessoas imunodeficientes, pacientes oncológicos e transplantados (BOMBAYWALA et al., 2021). A resistência antimicrobiana está relacionada ao uso descontrolado de antibióticos e antifúngicos, causando falhas no tratamento contra doenças infecciosas. Desde o ano de 2019, nenhum novo antibiótico de uso clínico foi aprovado pelo *Food and Drug Administration* para tratar infecções causadas principalmente por bactérias Gram negativas. Devido à resistência antimicrobiana, a escassez de novos antimicrobianos e limitadas opções de tratamento, a busca pelo desenvolvimento de novas opções terapêuticas contra microrganismos infecciosos torna-se fundamental (YU et al., 2021).

Dentre as cepas de leveduras capazes de produzir micocinas descritas na literatura, estão: *Wickerhamomyces anomalus*, *Debaryomyces hansenii*, *Pichia fermentans*, *Candida tropicalis* (HATOUM; LABRIE; FLISS, 2013), *Pichia pastoris* (FRANÇA et al., 2015), *Kluyveromyces marxianus* (CHEN et al., 2015), *Kluyveromyces lactis* (CEUGNIEZ et al., 2015), *Zygosaccharomyces bailii* (WEILER; SCHMITT, 2003). Até o momento, o fenômeno *killer* já foi descrito por quase cem espécies de mais de vinte gêneros (FRANÇA et al., 2015).

Inicialmente, acreditava-se que a ação das micocinas ocorria somente contra outras leveduras (BILINSKI et al., 1985), sendo o seu papel de ação principal sobre tais por possuírem receptores próprios para essa toxina (CAPPELLI et al., 2014; MUCCILLI; RESTUCCIA, 2015), no entanto, logo descobriu-se o vasto potencial de ação frente aos mais distintos microrganismos procariontes e eucariontes, apresentando atividade antimicrobiana, antiparasitária e antifúngica (GIOVATI et al., 2018; GUO et al., 2013; MAGLIANI et al., 1997). O fenômeno *killer* teve seu primeiro relato frente a bactérias descrito por Polonelli e Morace, em 1986.

Embora os mecanismos de ação das micocinas não estejam integralmente elucidados, estudos apontam que a principal enzima responsável pela ação antimicrobiana envolve as  $\beta$ -glucanases frente aos  $\beta$ -glucanos, mais especificamente o  $\beta$ -1,3-glucano ou  $\beta$ -1,6-glucano, sendo este o principal componente da célula fúngica (MUCCILLI et al., 2013). Dois tipos de receptores são descritos: receptores primários  $\beta$ -glucanos, localizados na parede celular das células-alvo, e secundários, que estão presentes na membrana plasmática, ocasionando a morte celular mediada pela lise osmótica das células-alvo (CECARINI et al., 2019; GUO et al., 2013). Outros

mecanismos de ação são propostos, envolvendo a paralisação de divisão celular, impedindo a síntese do DNA (*deoxyribonucleic acid*) (KLASSEN; MEINHARDT, 2005; MARQUINA; SANTOS; PEINADO, 2002); clivagem do RNAt (KLASSEN et al., 2008); imobilização de absorção de cálcio (BROWN; PHYLOGENETIC; MICROARRAY, 2011) e formação de poros no citoplasma, levando ao extravasamento de íons (SANTOS et al., 2007; SCHMITT; BREINIG, 2006), com consequente morte celular. Quanto ao mecanismo de inibição bacteriano, esse ainda não é compreendido (OLSTORPE et al., 2010; PASSOTH; OLSTORPE; SCHNÜRER, 2011).

Estudos recentes demonstram a ação das micocinas produzidas por diferentes espécies leveduriformes diante de várias cepas de bactérias, dentre elas: *Salmonella typhimurium in vitro* (FRANÇA et al., 2015), *Escherichia coli* em camundongos (CHEN et al., 2015), *Staphylococcus aureus* (CALAZANS et al., 2021), *Acinetobacter baumannii* (JUNGES et al., 2020), *Enterococcus faecalis*, *Klebsiella sp.*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Pseudomonas alcaligenes* (BAJAJ; RAINA; SINGH, 2013), *Listeria monocytogenes* (CEUGNIEZ et al., 2015) e de leveduras *Candida albicans* (CEUGNIEZ et al., 2015; PARIS et al., 2016; WEILER; SCHMITT, 2003), *Candida glabrata*, *Candida krusei* (WEILER; SCHMITT, 2003) como também frente a fungos filamentosos *Penicillium* e *Aspergillus* (FREDLUND et al., 2004; PETERSSON; SCHNÜRER, 1995).

Devido à sua atividade antimicrobiana, há um grande anseio na utilização de micocinas na pesquisa e desenvolvimento de fármacos. Guo et al. (2013) descreveram em seu estudo a ação de inibição das micocinas de algumas cepas de leveduras isoladas e destacou seu potencial para aplicação em medicamentos. Estudos referentes ao desenvolvimento de vacinas utilizando o mecanismo de ação semelhante das micocinas já foram descritos por Polonelli et al. (2014), através de anticorpos monoclonais em camundongos, assemelhando-se à atividade *killer* da *W. anomalus*. Magliani et al. (2004) referiram que vacinas para prevenção e tratamento de infecções reproduzindo o processo natural do organismo poderiam ser desenvolvidas por meio de novos estudos, contribuindo com a minimização da resistência antimicrobiana (POLONELLI et al., 2014).

#### 1.4 Toxicidade das micocinas

Na busca pelo desenvolvimento de alternativas antimicrobianas para patógenos resistentes, faz-se necessário o estudo para a descoberta de substâncias minimamente agressivas e de baixa toxicidade ao organismo humano e que apresentem níveis de segurança ideais (PARIS et al., 2016; YU et al., 2021).

Os antibióticos disponíveis atualmente podem ter efeitos críticos no organismo do paciente, como fotossensibilidade, ototoxicidade, condrotoxicidade, retinopatia e neuropatias. Ainda, algumas evidências mostram que a exposição crônica aos antibióticos desde o início da vida ocasionam efeitos negativos na homeostase intestinal e na barreira epitelial da pele (YU et al., 2021). Para um composto bioativo, a avaliação da toxicidade aguda é a primeira etapa de triagem para ponderação de suas propriedades tóxicas. Os ensaios de toxicidade aguda simulam e buscam determinar os efeitos adversos de uma substância em uma única ou múltiplas exposições durante um curto período de tempo (SOLTANI et al., 2021). Visto que a citotoxicidade de células de mamíferos a agentes antimicrobianos é uma das limitações para a sua aplicação (SONG et al., 2017), é importante avaliar a potencial toxicidade das micocinas.

As micocinas são classificadas tendo nula toxicidade ou quase nula em células humanas. Paris et al. (2016) avaliaram a toxicidade das micocinas produzidas por *W. anomalus* em eritrócitos humanos, concluindo que as micocinas não foram tóxicas para as células testadas, apresentando hemólise de apenas 5,2%, constatando também que os efeitos tóxicos das micocinas foram mínimos quando comparados aos efeitos da Anfotericina B. Esses resultados foram corroborados por Junges et al. (2020), os quais evidenciaram a baixa toxicidade em teste de hemólise, em ensaio com *Artemia Salina* constataram mais uma vez que as micocinas produzidas por *W. anomalus* não são tóxicas, visto que não apresentaram toxicidade nos microcrustáceos.

Assim, as micocinas são consideradas substâncias naturais de baixa toxicidade em células humanas, sendo fortes candidatas ao desenvolvimento de novos antimicrobianos com grande potencial de aplicação e interesse para a indústria farmacêutica (JUNGES et al., 2020; NASCIMENTO et al., 2020; PARIS et al., 2016).

## 1.5 Formulações cosméticas

Produtos de higiene e beleza são essenciais no nosso dia a dia. Seu uso habitual os torna uma rota potencial de exposição aos acúmulos de metabólitos no organismo humano, aos quais normalmente não estariam expostos (MARTÍN-POZO et al., 2021). Cosméticos são definidos como preparações constituídas por substâncias, naturais ou sintéticas, de uso externo, sendo sua principal função limpar, perfumar, alterar a aparência e/ou reparar odores corporais, bem como proteger ou manter o corpo em bom estado (BRASIL, 2008; YARKENT; GÜRLEK; ONCEL, 2020). Na produção de produtos cosméticos, encontram-se diferentes tipos de formulações de uso tópico para ação local ou em mucosas. As formulações semissólidas são encontradas na apresentação de pomadas, emulsões, pastas ou géis (FERREIRA, 2010; VISERAS et al., 2007). Esses sistemas possuem uma ampla variedade de aplicações em produtos para a saúde (VISERAS et al., 2007).

Gel é uma forma farmacêutica semissólida constituída por um ou mais princípios ativos, formado pela dispersão de agentes gelificantes utilizados a fim de conferir firmeza à formulação. As substâncias que formam os géis são polímeros que, quando em contato com meio aquoso, apresentam conformação doadora de viscosidade à preparação (BRASIL, 2012; MELO; SOUZA; LIMA, 2018). Os géis podem ser formados por substâncias naturais ou sintéticas (BRASIL, 2012), são bases amplamente utilizadas na produção de produtos cosméticos, farmacêuticos e dermatológicos, pois permitem veicular princípios ativos hidrossolúveis e lipossomas (MELO; SOUZA; LIMA, 2018).

Os polímeros usados para preparar géis farmacêuticos são goma adraganta, amido, derivados de celulose (metilcelulose, hidroxietilcelulose, carboximetilcelulose), polímeros carboxivinílicos e silicatos duplos de magnésio e alumínio, enquanto os hidrofóbicos consistem, usualmente, de parafina líquida com polietileno ou óleos gordurosos com sílica coloidal ou sabões de alumínio ou zinco (BRASIL, 2012). Um dos polímeros gelificantes de maior interesse para a veiculação de ativos em dermatologia é o hidroxietilcelulose (Natrosol®250). Esse gel, formado à base de celulose, possui caráter não iônico, tolera bem extremos de pH, possuindo sensibilidade reduzida ao pH do meio; apresenta boa estabilidade e tem a vantagem de ser solúvel tanto na água quente quanto na água fria (MELO; SOUZA; LIMA, 2018).

Dessa forma, existem duas classes de géis: os géis hidrofóbicos (gel-creme), em que suas bases geralmente consistem em parafina líquida com polietileno ou óleos

gordurosos com sílica coloidal, ou sabões de alumínio e zinco; e os géis hidrofílicos (gel-aquoso), cujas bases consistem de água, glicerol ou propilenoglicol (BRASIL, 2019). Na perspectiva da indústria farmacêutica e cosmética, os géis, em especial o gel-aquoso, destacam-se com algumas vantagens em relação a pomadas e cremes, por possuírem menor quantidade de componentes lipofílicos, sendo mais desejáveis pelos consumidores, uma vez que apresentam fácil espalhamento e não são gordurosos, portanto, proporcionam melhor sensação quando aplicados (FERREIRA, 2010). Alguns produtos em que se utiliza o gel-aquoso são: géis fixadores e modeladores, géis hidratantes para pele oleosa e acneica, géis protetores solares, géis esfoliantes, géis dentais, shampoos em gel, géis para banho, dentre outros. Tem-se também o álcool em gel utilizado na higiene de mãos e superfícies; este é formado por álcool, um polímero e água (REBELLO, 2008).

### **1.6 Sistemas conservantes utilizados em formulações, características ideais e indução da resistência microbiana**

Os conservantes ou sistemas conservantes são agentes antimicrobianos adicionados em formulações não-estéreis com o objetivo de impedir o desenvolvimento e multiplicação de microrganismos infecciosos que podem colocar em risco a integridade da saúde humana e/ou a estabilidade da formulação. A estabilidade deve ser garantida durante toda a vida útil do produto, desde a sua fabricação até a utilização do consumidor final (BRASIL, 2019; HERMAN, 2019).

Produtos cosméticos com água em sua composição são os mais propensos à contaminação microbiana. Mesmo com as alternativas de boas práticas de manipulação e controle microbiológico de matérias-primas, essas não são suficientes para impedir o desenvolvimento de microrganismos na formulação. A preservação do produto é garantida por meio de estratégias de adição de componentes antimicrobianos sintéticos ou naturais, e até mesmo multifuncionais (HALLA et al., 2018).

Dentre as características consideradas ideais para um conservante, estão: baixo custo ou custo aceitável, ser atóxico e não irritante, apresentar compatibilidade com os componentes da formulação, possuir largo espectro de atividade, em ampla faixa de pH durante a vida útil do produto e exercer efeito inibitório sobre as cepas padrão específicas com número de ATCC, como também frente a microrganismos da flora natural (PINTO; KANEKO; OHARA, 2015).

Os conservantes comumente utilizados são dispostos em classes de acordo com sua composição química: ácidos orgânicos, álcoois e fenóis, aldeídos e liberadores de formaldeído, isotiazolinonas, biguanidas, amônia quaternária, derivados de metais pesados e compostos inorgânicos (HALLA et al., 2018). Dentre a classe de conservantes mais utilizados, encontram-se os álcoois e fenóis compostos pelos parabenos, triclosan, clorobutanol o-fenilfenol, clorocresol, cloroxielenol, dentre outros. Em 2014, uma emenda foi publicada, limitando o uso do triclosan a uma concentração máxima de 0,2% em enxaguantes bucais e 0,3% em produtos cosméticos especiais, como cremes dentais, sabonetes para as mãos e corporais. Juntamente com essas alterações, cinco parabenos foram inseridos à lista de substâncias proibidas: isopropilparabeno, isobutilparabeno, fenilparabeno, benzilparabeno e pentilparabeno. Ainda, o regulamento da Comissão nº 1004/2014 inseriu alterações que permitem a utilização de butilparabeno, propilparabeno sódico, butilparabeno de potássio e propilparabeno de potássio em concentração máxima de 0,14% (ésteres) (HALLA et al., 2018).

Conservantes são utilizados em concentrações mínimas, a fim de minimizar os possíveis efeitos de toxicidade ao organismo humano. De acordo com Halla et al., (2018) é justamente essa pequena quantidade responsável pela indução da resistência microbiana, levando a uma tolerância dos microrganismos contaminantes de produtos cosméticos, que já vem sendo relatada. Algumas cepas de bactérias resistentes a conservantes isoladas de produtos cosméticos mostraram um grau de resistência cruzada com antibióticos (HERMAN, 2019), por consequência, a pesquisa por novos sistemas conservantes é de fundamental importância.

Os microrganismos contaminantes mais frequentes em cosméticos compreendem a *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Candida albicans*, como também outras espécies de bactérias, fungos e leveduras (HALLA et al., 2018). As micocinas demonstram amplo espectro de inibição, baixa probabilidade de indução à resistência e não são consideradas hemolíticas, mostrando assim seu potencial para desenvolvimento de novos agentes antimicrobianos (POLONELLI; MORACE, et al., 1986; IZGU; ALTINBAY; TURELI, 2007; MUCCILLI et al., 2013; BAJAJ; RAINA; SINGH, 2013; SEDDIK et al., 2016; PARIS et al., 2016). Com relação às substâncias utilizadas como conservantes na indústria farmacêutica e cosmética, as características das micocinas compreendem

as atribuições desejáveis dos conservantes, justificando a pesquisa sobre sua aplicação.

### **1.7 Parabenos e a problemática referente à sua toxicidade**

Presentes no mercado e em uso há mais de 80 anos, os parabenos são produzidos em escala industrial a partir de síntese química ácido p-hidroxibenzoico (PHBA). Comumente empregado nos mais variados setores: na indústria cosmética, farmacêutica e alimentícia, sendo produtos amplamente utilizados pela população em geral (DAGHER et al., 2012; FRANSWAY et al., 2019; NOWAK et al., 2018). Os parabenos possuem vasta atribuição industrial, devido à sua eficácia antibacteriana e fungicida, estabilidade alta em diferentes pHs e temperaturas, atividade inerte e baixo custo (FRANSWAY et al., 2019). Possuem grande espectro de ação conservante, a fim de inibir o crescimento microbiano e aumentar a vida útil dos produtos (DAGHER et al., 2012). São empregues em cosméticos, produtos farmacêuticos e de cuidados pessoais, variando entre loções, protetores solares, xampus, desodorantes, creme dental, esmaltes, batons, dentre inúmeros outros produtos. Caracterizando-se como formulações que entram em contato diretamente com a pele, olhos e mucosas, unhas e cabelos (FRANSWAY et al., 2019). Dentre os parabenos sintéticos, encontram-se metil-, etil-, propil-, isobutil-, butil-, isopropil- e benzil- parabeno. Sendo o mais utilizado em produtos alimentares e produtos de cuidado pessoal o metilparabeno (NOWAK et al., 2018).

No início de sua utilização, foram declarados seguros pela *Food and Drug Administration* (FDA), no entanto, com o decorrer dos anos, problemas de alta citotoxicidade foram expostos e se sugeriu que os parabenos pudessem não ser tão seguros quanto se presumia (NOWAK et al., 2018). Em testes realizados *in vivo* e *in vitro*, foi representada a atividade de desregulação endócrina por parabenos, sugerindo um risco à saúde humana (DARBRE; HARVEY, 2008). Em outra pesquisa, detectou-se a presença da forma não metabolizada de parabenos no tecido respiratório, sugerindo que estes poderiam induzir o desenvolvimento de câncer de mama (DAGHER et al., 2012). Assim, em 2010, a *Scientific Society on Consumer Safety* declarou novos limites de concentração de propilparabeno e butilparabeno que não deveria exceder 0,14%, pois considerou que estes teriam um “baixo potencial de modificação endócrina” (HALLA et al., 2018; SCCS, 2013).

Ainda que as concentrações de conservantes utilizadas sejam mínimas, esses conservantes são responsáveis por desencadear reações alérgicas aos consumidores. É relatado que conservantes como formaldeídos, isotiazolinonas, iodopropil, triclosan, timerosal e parabenos podem causar dermatite de contato alérgica e irritante, incluindo efeito tóxicos (HERMAN, 2019). Estudos apontam também a ocorrência de parabenos no meio ambiente, inclusive em ambientes aquáticos em que peixes, algas marinhas e invertebrados apresentavam a presença desses conservantes sintéticos e seus metabólitos em seus organismos (NOWAK et al., 2018), insinuando que essas substâncias são acumuláveis tanto no organismo humano quanto no ecossistema.

No atual momento, a indústria cosmética e farmacêutica enfrenta a falta considerável de aditivos antimicrobianos de menor toxicidade (HALLA et al., 2018). Em decorrência disso, há um interesse considerável no desenvolvimento de novos sistemas conservantes seguros e eficazes. Substâncias com amplo espectro de atividade antimicrobiana e de baixa toxicidade, visando maior perfil de segurança, como extratos de plantas, óleos essenciais e as micocinas, são alternativas futuras interessantes. Nesse cenário, a utilização de substâncias bioativas de origem natural, de baixa toxicidade e resistência microbiana representa uma atitude inovadora, em que componentes sintéticos são substituídos por naturais, e apresenta fundamental relevância no desenvolvimento de novos insumos; ademais, constitui também uma atitude sustentável.

Diante da preocupação em relação aos riscos que os conservantes sintéticos podem causar à integridade da saúde humana e a busca por sistemas conservantes mais seguros, eficazes e de origem natural, ressalta-se a relevância deste trabalho, que teve por objetivo o estudo e avaliação da ação conservante de micocinas presentes no sobrenadante de culturas de *Wickerhamomyces anomalus* WA92 incorporado em gel dermatológico, avaliando-se a atividade conservante, irritabilidade de membrana e estabilidade da formulação.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Incorporar e avaliar a ação conservante de micocinas presentes no sobrenadante de culturas de *Wickerhamomyces anomalus* WA92 em gel dermatológico.

### 2.2 Objetivos específicos

- Obter o sobrenadante contendo micocinas a partir de cepas de *W. anomalus* WA92;
- Dosar a quantidade de  $\beta$ -glucanases e proteínas. Quantificar a atividade enzimática no sobrenadante de *Wickerhamomyces anomalus* WA92;
- Testar a suscetibilidade das cepas de microrganismos padrão *Escherichia coli* (ATCC 8739), *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 9027), *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538), *Candida albicans* (ATCC 10231) e *Aspergillus niger* (ATCC 16404) frente ao sobrenadante contendo as micocinas produzidas por *Wickerhamomyces anomalus* WA92 pelo método de microdiluição;
- Incorporar em formulação gel o sobrenadante contendo as micocinas produzidas por *W. anomalus* WA92 em duas concentrações diferentes;
- Avaliar a estabilidade da formulação gel incorporado com sobrenadante WA92;
- Avaliar a ação conservante do sobrenadante contendo micocinas WA92 incorporado em formulação gel;
- Avaliar a irritabilidade de membrana do gel incorporado com o sobrenadante contendo micocinas WA92 através do teste em membrana de ovo embrionado de galinha.

## **CAPÍTULO 1**

## Conservação de formulação tópica utilizando micocinas produzidas por *Wickerhamomyces anomalus*

Preservation of topical formulation using mycocins produced by *Wickerhamomyces anomalus*

E. C. Martelli<sup>1</sup>; R. F. Gandra<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Pesquisa, Ensino e Extensão – LACEPE/ Laboratório de Micologia/ Hospital Universitário do Oeste do Paraná - Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste, CEP 85806-470 Cascavel-PR, Brasil;

\*rinaldo.gandra@unioeste.br

---

Resumo: Após relatos de reações adversas e desregulação endócrina causada por alguns conservantes como os parabens, amplamente utilizados em formulações tópicas e medicamentos, a indústria cosmética e farmacêutica enfrenta a falta considerável de agentes antimicrobianos com menor toxicidade, desencadeando o interesse na busca pelo desenvolvimento de novos sistemas conservantes seguros e eficazes. Substâncias naturais com amplo espectro de atividade antimicrobiana e de baixa toxicidade são alternativas interessantes para a pesquisa de novos conservantes. As micocinas são substâncias naturais produzidas por leveduras *killer*, que possuem potencial de inibir bactérias e fungos com amplo espectro de ação, baixa toxicidade e baixa probabilidade de indução de resistência microbiana. *Wickerhamomyces anomalus* é uma levedura produtora de micocinas com vasto potencial de aplicação industrial. O objetivo deste trabalho foi de verificar a atividade conservante de micocinas produzidas por *W. anomalus* quando incorporadas em gel dermatológico. Realizaram-se ensaios de determinação de  $\beta$ -glucanases, ensaio de microdiluição, *Challenge Test* para avaliar a eficácia de ação conservante frente aos microrganismos padrão, análise de estabilidade e teste de irritabilidade de membrana. O sobrenadante WA92 apresentou atividade de  $\beta$ -glucanases de 3,80 U/mg e inibição frente a todos os microrganismos padrão testados em microdiluição. No *Challenge Test*, os critérios de eficácia conservante foram cumpridos para bactérias, fungo filamentosos e leveduriforme. Os resultados compreenderam uma formulação gel estável e não irritante utilizando micocinas como conservante em diferentes concentrações, a avaliação de estabilidade por meio de viscosidade, densidade e pH e estimativa da capacidade conservante das micocinas, incluindo comparações com conservantes comumente utilizados foram apresentados neste estudo.

Palavras-chave: Antimicrobiano, *Challenge Test*, conservante natural

---

Abstract: After reports of adverse reactions and endocrine disruption caused by some preservatives such as parabens, widely used in topical formulations and medicines, the cosmetic and pharmaceutical industry faces a considerable lack of additives with less toxicity, triggering interest in the search for the development of new preservative systems safe and effective. Natural substances with a broad spectrum of antimicrobial activity and low toxicity are interesting alternatives for the research of new preservatives. Mycocins are natural substances produced by *killer yeasts*. They have the potential to inhibit bacteria, filamentous fungi and yeast with a broad spectrum of action, low toxicity and low probability of inducing microbial resistance. *Wickerhamomyces anomalus* is a mycocin-producing yeast with vast potential for industrial application. This study aimed to verify the preservative activity of mycocins produced by *W. anomalus* when incorporated into dermatological gels, stability of mycocins in the formulation and membrane irritation potential.  $\beta$ -glucanases determination assays,  $\beta$ -glucanase assay, microdilution, *Challenge Test* to evaluate the effectiveness of preservative action against standard microorganisms, stability tests and membrane irritability assay in organotypic model. The WA92 supernatant showed  $\beta$ -glucanase activity of 3.80 U/mg. In the microdilution assay, all standard microorganisms tested were sensitive to WA92 mycocins at their maximum concentration of 3.80 U/mg. In the *Challenge Test*, the preservative efficacy criteria were met for bacteria, filamentous fungus and yeast. The results comprised a stable and non-irritating gel formulation using mycocins as a preservative at different concentrations, evaluation of stability through viscosity, density and pH and estimation of the preservative capacity of mycocins including comparisons with commonly used preservatives were showed in this study.

---

Keywords: Antimicrobial, *Challenge Test*, natural preservative

---

## 1. INTRODUÇÃO

Produtos cosméticos com água em sua composição são os mais propensos à contaminação microbiana. As alternativas de boas práticas de manipulação e controle microbiológico de matérias-primas não são suficientes para impedir o desenvolvimento de microrganismos na formulação. Os microrganismos contaminantes mais frequentes em cosméticos compreendem a *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Candida albicans*, como também outras espécies de bactérias, fungos e leveduras. Por esse motivo, a preservação do produto é garantida a partir de estratégias de adição de componentes antimicrobianos sintéticos ou naturais e até mesmo multifuncionais [1].

Conservantes ou sistemas conservantes são agentes antimicrobianos adicionados em formulações não-estéreis com o objetivo de impedir o desenvolvimento e multiplicação de microrganismos infecciosos que podem colocar em risco a integridade da saúde humana e também a estabilidade da formulação [2,3]. Os conservantes são utilizados em concentrações mínimas, a fim de minimizar os possíveis efeitos de toxicidade ao organismo humano. Essa pequena quantidade pode ser responsável pela indução da resistência, levando a uma tolerância dos microrganismos contaminantes de produtos cosméticos [1]; além disso, são responsáveis por desencadear reações alérgicas nos consumidores [3].

Parabenos são uma das classes de conservantes de maior atribuição industrial [4]. No início de sua utilização, foram declarados seguros pela *Food and Drug Administration* (FDA), no entanto, com o decorrer dos anos, problemas de alta citotoxicidade foram expostos [5], como atividade de desregulação endócrina em testes *in vitro* e *in vivo* [6], bem como a presença da forma não metabolizada de parabenos no tecido respiratório, sugerindo que estes poderiam induzir o desenvolvimento de câncer de mama [7]. Assim, em 2010, a *Scientific Society on Consumer Safety* declarou novos limites de concentração de propilparabeno e butilparabeno que não deveriam exceder 0,14%, pois considerou que estes teriam um “baixo potencial de modificação endócrina” [1,8].

As micocinas são metabólitos secundários de baixo peso molecular, produzidos por alguns tipos de leveduras. Demonstrem amplo espectro de inibição frente a bactérias e fungos, baixa probabilidade de indução à resistência e não são consideradas hemolíticas [9–15]. O potencial de inibição abrangente das micocinas produzidas pelas leveduras encorajou sua aplicação industrial, especialmente na área de fermentação e conservação de alimentos, no tratamento pesticida pós colheita, como também na área clínica, abrangendo o desenvolvimento de medicamentos e vacinas por apresentarem baixa resistência antimicrobiana e segurança ao organismo humano [12,16–18]. Uma tendência atual na conservação de cosméticos é evitar o uso de substâncias químicas, deixando os pesquisadores em busca de alternativas aos agentes antimicrobianos [19].

*Wickerhamomyces anomalus* é uma das leveduras produtoras de micocinas, considerada segura para indivíduos humanos saudáveis, segundo os padrões da Autoridade Europeia para a Segurança de Alimentos (*European Food Safety Authority*); *W. anomalus* obteve *qualis* 1 em nível de biossegurança, obtendo status de *Qualified Presumption of Safety* [20,21]. No que se refere à aplicação industrial, a levedura *W. anomalus* possui vasto potencial biotecnológico entre a indústria; em fermentações, é utilizada como biocontrole por competição com leveduras e fungos indesejáveis, sendo essa sua aplicação mais estudada [12,22]. Assim, as micocinas produzidas por *W. anomalus* são consideradas substâncias naturais de baixa toxicidade em células humanas, sendo fortes candidatas ao desenvolvimento de novos antimicrobianos com grande potencial de aplicação e interesse para a indústria farmacêutica [15,23,24].

Diante da preocupação em relação aos riscos que os conservantes sintéticos podem causar à integridade da saúde humana e a busca por sistemas conservantes mais seguros, eficazes e de origem natural, o objetivo deste trabalho foi avaliar a ação conservante de micocinas presentes no sobrenadante de culturas de *Wickerhamomyces anomalus* WA92 incorporado em gel dermatológico, analisando a eficácia da ação conservante, irritabilidade de membrana e estabilidade da formulação.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Obtenção de micocinas de *Wickerhamomyces anomalus*

A levedura utilizada foi molecularmente identificada como *Wickerhamomyces anomalus* WA92 e sua respectiva sequência está depositada no GenBank (número de acesso: KT580796 - Disponível em:

www.ncbi.nlm.nih.gov/BLAST), sendo anteriormente coletada às margens do Lago de Itaipu, localizado no estado do Paraná, Brasil, e passou por testes de triagem para verificação de produção de micocinas. Atualmente, faz parte da micoteca do laboratório de micologia do Laboratório de Análises Clínicas, Ensino, Pesquisa e Extensão (LACEPE).

Previamente à produção das micocinas, a cepa WA92 foi reativada por inoculação em meio Ágar Sabouraud modificado (ágar 2%, peptona 1%, glicose 2%, ácido cítrico 1,92% e fosfato de potássio dibásico 3,48%) pH  $4,7 \pm 2^\circ$  e incubadas a  $32^\circ\text{C}$  durante 48 horas. A cepa reativada foi inoculada em frascos de Roux com 200 mL de caldo Sabouraud modificado (1% de peptona, 2% de glicose, 1,92% de ácido cítrico, 3,48% de fosfato de potássio dibásico) pH 4,7 e incubados a  $25^\circ\text{C}$  por 5 dias. Após este período, o caldo foi centrifugado a 6000 rpm/10 min, obtendo o sobrenadante que foi esterilizado por membrana filtrante  $0,22 \mu\text{m}$  e armazenado a  $4^\circ\text{C}$  [15,23].

## 2.2 Determinação $\beta$ -Glucanase pelo método da Laminarina

A determinação de  $\beta$ -glucanases presentes no filtrado do sobrenadante WA92 contendo as micocinas foi realizada de acordo com Miller (1959) [25] com algumas adaptações, utilizando laminarina 1% (obtida de *Laminaria digitata*) em tampão acetato 50 mM, pH 5,0 e curva padrão de glicose. A reação foi preparada utilizando 62,5  $\mu\text{L}$  da amostra de sobrenadante WA92 e 125  $\mu\text{L}$  de laminarina. Incubou-se a solução a  $37^\circ\text{C}$  por 10 minutos. Após este período, 100  $\mu\text{L}$  da solução foram adicionados a 100  $\mu\text{L}$  de ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) para parar a reação. Para o branco, foi utilizada a mesma solução do teste, sem a laminarina. Em seguida, as soluções foram incubadas em água fervente por 5 minutos com consequente adição de 500  $\mu\text{L}$  de água. A leitura foi realizada a 550 nm em espectrofotômetro. Uma unidade da atividade enzimática foi definida como a quantidade de enzima necessária para liberar 1  $\mu\text{mol}$  de glicose por minuto de reação, sendo definida como U/min/mL, conforme as condições descritas.

A quantificação de proteínas foi realizada a partir do método baseado na absorção do reagente Coomassie Brilliant Blue G-250 proposto por Bradford (1976) [26]. Para a preparação da reação, misturou-se 1 mL do Reagente Bradford com 100  $\mu\text{L}$  do sobrenadante de cada cepa. Deixou-se a mistura em temperatura ambiente por 5 minutos e, em seguida, leu-se em espectrofotômetro a 595 nm. Além disso, foi realizada curva padrão a cada determinação da concentração de proteínas totais pelo método de Bradford, utilizando curva padrão de soro albumina bovino (BSA), sendo a equação da reta utilizada para o cálculo da concentração total de proteínas em mg/mL. A atividade específica de  $\beta$ -glucanases foi calculada dividindo a concentração de atividade enzimática pela concentração de proteínas. Todos os ensaios foram realizados em triplicata.

## 2.3 Atividade antimicrobiana pelo método de microdiluição

Para os testes de microdiluição, utilizaram-se os métodos M07-A10, M38-A3 e M27-A3 - *Clinical and Laboratory Standards Institute* para bactérias, fungo filamentosos e leveduriformes, respectivamente, com algumas adaptações. Os microrganismos padrão teste utilizados foram: *Escherichia coli* (ATCC 8739), *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 9027), *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538), *Candida albicans* (ATCC 10231) e *Aspergillus niger* (ATCC 16404). Para o preparo do inóculo bacteriano, cada microrganismo padrão foi semeado em ágar Mueller-Hinton (MH)  $35^\circ\text{C}/18\text{-}24\text{h}$ , as colônias foram transferidas para uma solução de NaCl 0,9% ajustado em espectrofotômetro a 520nm, obtendo concentração de  $1,5 \times 10^8$  células/mL. O inóculo de levedura foi cultivado em ágar Sabouraud dextrose (SD)  $32^\circ\text{C}/48\text{h}$ , suspendeu-se em solução de NaCl 0,9% ajustado em espectrofotômetro 530nm, obtendo-se a concentração de  $1,5 \times 10^4$  células/mL. O fungo filamentosos foi cultivado em ágar SD em temperatura ambiente durante 7 dias. O inóculo foi preparado adicionando-se 10mL de solução NaCl 0,9% com 1 gota de Tween 20. A solução resultante de conídios e fragmentos de hifas foi transferida para um tubo de fundo cônico estéril; aguardou-se 10 minutos para a sedimentação de partículas, a suspensão homogênea superior foi ajustada para uma densidade óptica de 0,069-0,11 (transmitância de 80-82%) a 625nm [27-29].

Utilizaram-se microplacas contendo 96 poços, dispostas em colunas (enumeradas de 1 a 12) e linhas (com letras alfabéticas, de A a G). Os inóculos de microrganismos padrão foram ajustados à concentração de  $10^3$  UFC/mL, as soluções foram homogeneizadas em 10 mL de caldo Mueller Hinton (MH) e distribuídas (100  $\mu\text{L}$ ) nas colunas. O sobrenadante contendo as micocinas foram diluídas em

água destilada estéril e adicionados aos poços da linha B a F (100 µL), resultando nas seguintes concentrações de β-glucanase: 0,24; 0,48; 0,95; 1,90 e 3,80 U/mg. As leituras foram realizadas em 24 e 48 horas, de modo que a última diluição onde havia inibição do crescimento microbiano foi tomada como resultado, em comparação com os controles positivo e negativo. Alíquotas de 10 µL foram extraídas dos poços-resultado e semeadas em ágar Sabouraud e ágar Nutriente para confirmar a completa inibição. O teste foi realizado em duplicata [27–29].

## 2.4 Formulação

Inicialmente, duas formulações de gel Natrosol foram preparadas: uma com conservantes (metil e propilparabenos) e outra sem conservantes. A partir da formulação sem conservantes, incorporaram-se as micocinas presentes no sobrenadante de cultura WA92 em concentrações de 3% (11,4 U/mg β-glucanases) e 4% (15,2 U/mg β-glucanases) até completa homogeneização. Dessa forma, considerou-se a formulação com conservantes como gel controle positivo (Gel C+), a formulação sem conservantes gel controle negativo (Gel C-) e as formulações testes contendo micocinas presentes no sobrenadante de cultura WA92 nas concentrações de 11,4 U/mg β-glucanases (Gel T1) e 15,2 U/mg β-glucanases (Gel T2). Os componentes da formulação e concentrações estão descritos na Tabela 1.

*Tabela 1 Componentes da base gel e concentrações.*

Gel C+	Gel C-	Gel T1	Gel T2
Natrosol 2%	Natrosol 2%	Natrosol 2%	Natrosol 2%
Propilenoglicol 5%	Propilenoglicol 5%	Propilenoglicol 5%	Propilenoglicol 5%
EDTA 0,1%	EDTA 0,1%	EDTA 0,1%	EDTA 0,1%
Nipagin 0,1%	-	Sobrenadante WA92 3%	Sobrenadante WA92 4%
Nipazol 0,1%	-	-	-
Água qsp 100mL	Água qsp 100mL	Água qsp 100mL	Água qsp 100mL

Gel C+: com conservantes

Gel C-: sem conservantes

Gel T1: 11,4 U/mg β-glucanases

Gel T2: 15,2 U/mg β-glucanases

## 2.5 Challenge Test

As formulações Gel T1, Gel T2, Gel C+ e Gel C- foram desafiadas introduzindo 200 ul da suspensão contendo  $10^6$  UFC/ml (bactérias) e  $10^5$  UFC/ml (fungos) de cada microrganismo padrão teste, homogeneizadas e mantidas a 22,5°C. O número de células viáveis nas formulações foi determinado pelo método de plaqueamento aos 0, 7, 14 e 28 dias. Para este fim, 1g de cada formulação foi transferida para 99 ml de Diluente Universal (fosfato de potássio monobásico 3,6%, fosfato dissódico di-hidratado 7,2%, cloreto de sódio 4,3%, peptona de carne 1,0%, lecitina de soja 3,0% e tween 80 30,0%) pH 6,8. Fornecendo uma diluição de  $10^{-2}$  que foi posteriormente diluída para  $10^{-3}$  e  $10^{-4}$ . Das suspensões preparadas, 100 ul foram inoculados em placas com ágar TSA e SD para bactérias e fungos, respectivamente. As placas contendo as bactérias e fungos foram incubadas a 35°C e 25°C, respectivamente. O teste foi conduzido em duplicata. Da contagem de colônias, foi possível calcular a redução log:  $\log_{10} \text{UFC mL}^{-1}$  no tempo zero -  $\log_{10} \text{UFC mL}^{-1}$  em um dado tempo. Os resultados foram expressos como log UFC/mL [2].

## 2.6 Estabilidade da formulação

As formulações testes e seus controles foram submetidos aos testes de Triagem Preliminar, Estabilidade Acelerada, Estabilidade Normal e *Shelf life*. Os parâmetros avaliados foram: características organolépticas (aspecto, cor e odor) e características físico-químicas (pH, viscosidade e densidade).

### 2.6.1 Avaliação das Características Organolépticas - Aspecto

Alterações nas características ‘macroscópicas’ da amostra em estudo foram observadas visualmente e comparadas com as características da amostra de padrão Gel C+, Gel C- e Gel T1 e T2 armazenadas em temperatura ambiente, a fim de verificar se ocorreram alterações do tipo: turvação, separação de fases ou precipitação. O aspecto foi descrito como: fluído ou viscoso, homogêneo ou heterogêneo, transparente ou opaco. As amostras foram classificadas segundo os seguintes critérios: normal, sem alteração; levemente separado, levemente precipitado ou levemente turvo; separado, precipitado ou turvo [30].

### 2.6.2 Cor

Na análise visual, a cor da amostra foi comparada com a cor do padrão armazenado em frasco da mesma especificação, sob condições de luz ‘branca’ natural. A amostra do produto foi classificada segundo os seguintes critérios: normal, sem alteração; levemente modificada; modificada; intensamente modificada [30].

### 2.6.3 Odor

As amostras e os padrões de referência, acondicionados no mesmo material de embalagem, tiveram os referidos odores comparados diretamente pelo olfato. As amostras foram classificadas segundo os seguintes critérios: normal; sem alteração; levemente modificada; modificada; intensamente modificada [30].

## 2.7 Avaliação das características físico-químicas

### 2.7.1 Determinação do valor de pH

A determinação do valor de pH foi realizada através de uma dispersão aquosa 1:10 (m/v) utilizando pHmetro recém calibrado [30].

### 2.7.2 Determinação da viscosidade

As viscosidades das formulações foram medidas utilizando o Viscotester VT-04E com rotor tamanho 1 em temperatura de  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ . A resistência ao movimento do rotor causada pela viscosidade foi medida em dPascal.  $\text{s}^{-1}$  (dPA- $\text{s}^{-1}$ ). As formulações foram classificadas segundo os seguintes critérios: normal, sem alteração; levemente modificada; modificada; intensamente modificada. Foram admitidas pequenas variações, desde que não comprometessem a percepção visual das amostras [30].

### 2.7.3 Determinação da Densidade

A determinação da densidade foi realizada em picnômetro metálico. Pesou-se o picnômetro vazio (M0), em seguida, foi preenchido completamente com água destilada, pesou-se novamente (M1). Após, o picnômetro com a amostra foi pesado (M2) [31]. A densidade foi expressa pela média de duas determinações e calculada segundo a equação a seguir:

$$d = \frac{M2 - M0}{M1 - M0}$$

Em que:

$d$  = densidade

M0 = massa do picnômetro vazio, em gramas

M1 = massa do picnômetro com água purificada, em gramas

M2 = massa do picnômetro com a amostra, em gramas

## 2.8 Teste de Triagem Preliminar

### 2.8.1 Centrifugação

Para a execução do teste, aproximadamente 5g de cada formulação Gel C+, Gel C- e Gel T1 e T2 foram submetidos à centrifugação durante 30min, em temperatura ambiente ( $25,0 \pm 2,0^\circ\text{C}$ ). Ao final, foram avaliados de forma visual aspectos de instabilidade [31].

### 2.8.2 Estresse térmico

Nesse teste, 5g de cada uma das amostras Gel T1, Gel T2, Gel C+ e Gel C- foram colocadas em banho maria em temperaturas entre 30 a  $80^\circ\text{C}$  em intervalos de  $10^\circ\text{C}$ , mantidos 30min em cada temperatura [32-33].

## 2.9 Teste de Estabilidade Acelerada

### 2.9.1 Ciclo gelo/degelo

As formulações Gel C+, Gel C- e Gel T1 e T2 foram submetidas a ciclos de 24 horas a  $50 \pm 2^\circ\text{C}$  e 24 horas a  $-5 \pm 2^\circ\text{C}$ , realizados durante 12 dias (6 ciclos) consecutivos. Os parâmetros avaliados foram: características organolépticas (aspecto, cor e odor) e características físico-químicas (pH, viscosidade e densidade) [31].

## 2.10 Teste de Estabilidade Normal

### 2.10.1 Estufa, geladeira e exposição à luz solar

As amostras Gel C+, Gel C- e Gel T1 e T2 foram submetidas em diferentes condições de armazenamento, a fim de avaliar o efeito sobre as formulações. As amostras foram submetidas a aquecimento em estufa a  $37 \pm 2^\circ\text{C}$ , resfriamento em geladeira a  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  e exposição à luz solar. As formulações foram avaliadas no tempo 0, 7, 15, 30, 60 e 90 dias. Os parâmetros avaliados foram: características organolépticas (aspecto, cor e odor) e características físico-químicas (pH, viscosidade e densidade) [31].

## 2.11 Teste de Prateleira

No teste de prateleira, conhecido também como *shelf life*, as formulações Gel C+, Gel C- e Gel T1 e T2 foram avaliadas em condições normais de armazenamento a  $25^\circ\text{C}$  durante um período de 3 meses. Inicialmente, as amostras foram avaliadas no tempo 0, 7, 15 e, a partir de 30 dias, foram avaliadas mensalmente. Os parâmetros avaliados foram: características organolépticas (aspecto, cor e odor) e características físico-químicas (pH, viscosidade e densidade) [31].

## 2.12 Ensaio de irritação em modelo organotípico – HET-CAM

Para a execução do ensaio HET-CAM, ovos fecundados de galinha caipira foram incubados durante um período de 10 dias a  $37^\circ\text{C}$ . Realizou-se um pequeno orifício na parte superior da casca, cortando-se circularmente, expondo a primeira membrana esbranquiçada que, com auxílio de bisturi e pinça, foi removida para ter acesso à membrana cório-alantoide (CAM). As membranas foram avaliadas, a fim de verificar possíveis danos, ovos com ausência de embrião, ou de respiração e mobilidade foram rejeitados do experimento [34-37].

Na sequência, 300  $\mu\text{L}$  de cada formulação gel foram aplicadas com o auxílio de micropipeta sobre a superfície da membrana cório-alantoide. Aguardaram-se 20s de período de contato; a formulação foi removida com solução salina (NaCl 0,9%) e a membrana (CAM) foi observada durante 5 minutos. Como controles do teste, utilizou-se solução salina como negativo e solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1N para positivo, representando uma substância altamente irritante para a membrana e evidenciando os possíveis efeitos irritantes: hiperemia, hemorragia e coagulação [34,36-38]. Pontuações foram

atribuídas a cada efeito observado no tempo em segundos, conforme a Tabela 2 e, em seguida, a classificação final do potencial irritante foi considerada conforme a Tabela 3.

Tabela 2 Pontuações atribuídas às alterações de irritação evidenciadas na membrana corio-alantoide em função do tempo.

Reação de irritação	Tempo		
	$T \leq 30s$	$30s \geq T \leq 2min$	$2min \geq T \leq 5min$
Hiperemia	5	3	1
Hemorragia	7	5	3
Coagulação	9	7	5

Fonte: *Journal Officiel de la Republique Française* (1996)

Tabela 3 Classificação final do potencial irritante no HET-CAM conforme pontuação atribuída em relação às reações de irritação.

Índice	Categorias
$N < 1$	Praticamente não irritante
$1 \leq N \leq 5$	Ligeiramente irritante
$5 \leq N \leq 9$	Moderadamente irritante
$N \geq 9$	Irritante

Fonte: Adaptado de *Journal Officiel de la Republique Française* (1996)

### 2.13 Análises Estatísticas

Os dados foram analisados por meio de estatística descritiva simples expressados por intermédio de gráficos e tabelas utilizando os softwares Microsoft Excel® e Word®.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Determinação da atividade de $\beta$ -glucanases

Os resultados de atividade específica de  $\beta$ -glucanases obtidos para *W. anomalous* WA92 foram de 3,80 U/mg. Esses resultados foram superiores aos de Lima et al. (2013) [39], que obtiveram a quantidade de 0,071 U/mg, e de Calazans et al. (2021) [40], que relataram atividade de 0,40 U/mg em micocinas de *W. anomalous*. Em contrapartida, Rosseto et al. (2022) [41] referiram atividade de 2,47 U/mg em micocinas de *W. anomalous*. Essa diferença pode estar relacionada às condições de cultivo, tipo de cepa e otimização da forma de cultivo, temperatura, pH e densidade do inóculo. De acordo com Bieleki & Galas (1991) [42] e Bauermeister et al. (2010) [43], pode haver inibição da produção da enzima por alguns microrganismos por excesso de glicose ou outra fonte facilmente acessível.

As  $\beta$ -glucanases são consideradas enzimas com multifunções, encontradas em microrganismos e plantas, constituindo parte da parede celular e atuando como reserva citoplasmática e vacuolar, também como substâncias extracelulares [42]. Atuam hidrolisando e degradando as glucanas, incluindo o  $\beta$ -1,3;1,6-glucano, presentes na parede celular de alguns microrganismos, liberando glucose como produto da reação [43,44]. A laminarina, obtida da alga *Laminaria digitata*, tem sido muito utilizada como substrato para a determinação da atividade de  $\beta$ -1,3-glucanases [42,43,45].

### 3.2 Atividade antimicrobiana pelo método de microdiluição

Os testes de microdiluição foram baseados na concentração de  $\beta$ -glucanases presentes no sobrenadante de cultura WA92. O sobrenadante foi testado frente a susceptibilidade dos 5 microrganismos padrão: *Escherichia coli* (ATCC 8739), *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 9027), *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538), *Candida albicans* (ATCC 10231) e *Aspergillus niger* (ATCC 16404). Todos os microrganismos padrão testados foram sensíveis às micocinas de WA92 em concentração de 3,80 U/mg. *E. coli* e *A. níger* foram inibidos na concentração de 1,90 U/mg, *P. aeruginosa* 0,95 U/mg, *S. aureus* 0,48 U/mg e *C. albicans* 0,24 U/mg. Os resultados de susceptibilidade dos microrganismos padrão estão representados na Figura 1.

Vários estudos na literatura corroboram com a inibição dos microrganismos testados neste trabalho. Constata-se a vasta atividade das micocinas produzidas por *W. anomalus* e suas antigas nomenclaturas, frente a bactérias, leveduras e bolores [24]. A ação antimicrobiana das micocinas em testes *in vitro* é bem documentada, logo, as micocinas apresentam características interessantes para o estudo de aplicação conservante devido às suas propriedades e amplo espectro de ação. Paris et al. (2016) [15] verificaram que as micocinas produzidas por *W. anomalus* apresentaram ação antifúngica frente a *C. albicans* isoladas de sangue em 100% das 30 cepas testadas. Essa ação também foi relatada por Sawant et al. (1988) [46], que descreveram que as micocinas produzidas por *Pichia Anomala* foram capazes de inibir cepas de *C. albicans*. A susceptibilidade de *S. aureus* foi descrita por Calazans et al. (2021) [40], que verificaram que micocinas produzidas por *W. anomalus* apresentaram atividades inibitórias em 100% das cepas de *S. aureus* coagulase positiva isoladas de carnes. Chen et al. (2015) [47] relataram a ação de micocinas produzidas por duas linhagens de leveduras, *Saccharomyces cerevisiae* e *Kluyveromyces marxianus*, e relataram atividade frente a isolados de *E. coli*. Olstorpe et al. (2011) [22] testaram inóculos íntegros de *H. anomala* contra 13 espécies de enterobactérias, ao longo dos dias de tratamento, todas as espécies testadas, inclusive *E. coli*, foram reduzidas em valor abaixo do seu nível de detecção. Segundo Bajaj et al. (2013) [13], as micocinas RY55 produzidas por *Pichia kudriavzevii* mostraram exercer atividade inibitória sobre várias bactérias patogênicas de importância clínica e saúde humana, dentre elas: *E. coli*, *S. aureus*, *P. aeruginosa* e *Pseudomonas alcaligenes*. *Pichia anomala* foi testada em ágar de forma íntegra, apresentando forte atividade inibitória frente a alguns fungos, dentre eles, *Aspergillus candidus* e *Penicillium roqueforti* [48].

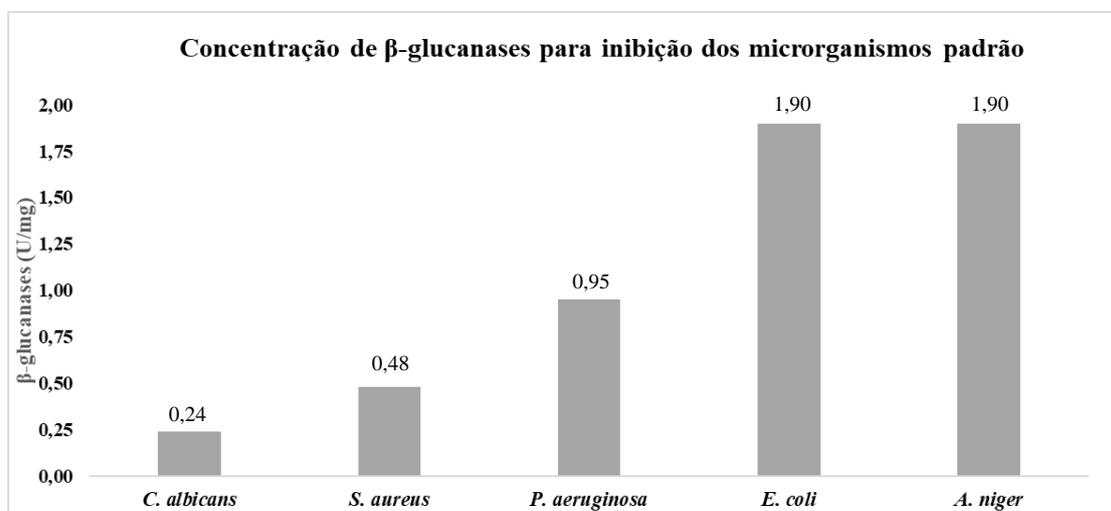


Figura 1: Teste de microdiluição utilizando o sobrenadante de WA92 em suas respectivas concentrações capazes de inibir completamente cada microrganismo padrão teste no tempo de 24h e 48h.

### 3.3 Challenge test

O teste do desafio conservante realizado nas formulações conservadas com micocinas Gel T1 e Gel T2 alcançou os critérios de redução logarítmica estabelecidos para *Escherichia coli* (ATCC 8739), *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 9027) e *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538) dentro de 14 dias. As cepas de *A. niger* (ATCC 16404) e *C. albicans* (ATCC 10231) não apresentaram aumento em relação à contagem inicial em 7, 14 e 28 dias, seguindo os critérios estipulados. Tanto a concentração de β-glucanases de 11,4 U/mg quanto a concentração de 15,2 U/mg cumpriram as especificações de eficácia conservante nas formulações, sendo que a menor concentração foi suficiente para conter a multiplicação microbiana no produto. Os resultados das contagens UFC/mL em função do tempo em redução logarítmica são expressos na Figura 2.

Hernandes et al. (2017) [49] avaliaram a eficácia microbiana do óleo essencial de *Lipia organoides* em diferentes preparações: xarope, shampoo, creme e suco de laranja; observaram que o óleo essencial teve ação inibitória e atingiu os critérios para a formulação de xarope, shampoo e suco de laranja, enquanto, para a formulação de creme, o óleo teve ação conservante apenas para fungos. Esses resultados demonstram como uma substância pode variar sua atividade de conservação, dependendo da forma de apresentação do produto, o que destaca a importância da avaliação da eficácia do conservante adicionado à formulação final escolhida [50]. Óleos essenciais e extratos vegetais testados *in vitro* por

Herman et al. (2013) [51] apresentaram uma potente inibição microbiana. Em outro experimento, Herman et al. (2014) [52] incorporaram os extratos vegetais e óleos essenciais testados no estudo anterior em uma emulsão que foi avaliada frente a bactérias da flora da pele de voluntários e obtiveram resultados de inibição microbiana promissores com o óleo de canela em concentração de 2,5%. Ostrosky et al. (2011) [53] relataram a ação do extrato de *Rubus rosaefolius* como conservante em duas formulações tópicas, emulsão e gel, que atingiram os critérios para *P. aeruginosa* (ATCC 9027), *Burkholderia cepacia* (ATCC 25416), *S. aureus* (ATCC 6538) e *E. coli* (ATCC 10536), no entanto, não demonstraram atividade sobre fungos.

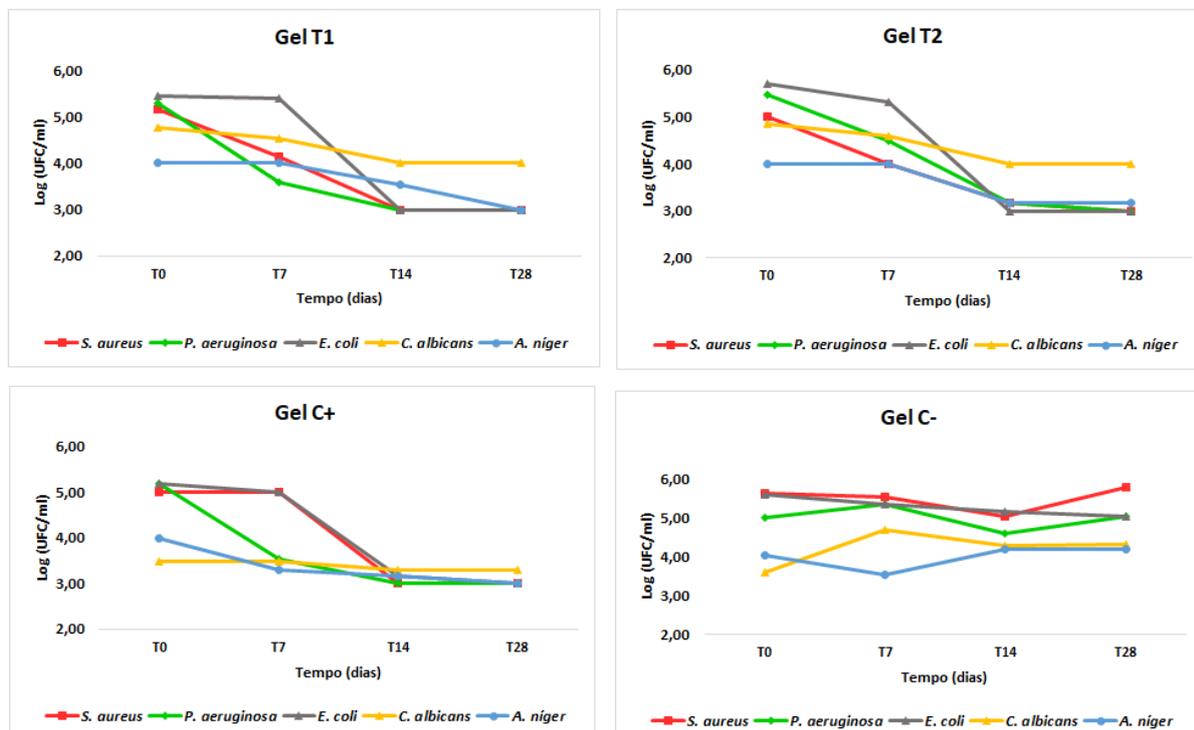


Figura 2: Redução logarítmica dos microrganismos no Teste do Desafio Conservante (Challenge Test). Gel T1 (11,4 U/mg  $\beta$ -glucanases), Gel T2 (15,2 U/mg  $\beta$ -glucanases), Gel C+ (com conservante) e Gel C- (sem conservante).

O teste de eficácia do sistema conservante, conhecido também como *Challenge Test*, tem por objetivo assegurar a eficácia de conservantes antimicrobianos presentes em produtos farmacêuticos. Os conservantes são adicionados em produtos não-estéreis, a fim de evitar o crescimento microbiano. Os critérios para eficácia microbiana variam de acordo com cada categoria de produto. De acordo com a Farmacopeia Brasileira (2019) [2], a formulação gel se enquadra como o produto de categoria 2 (produtos de uso tópico, constituídos de base, ou veículo aquoso). Portanto, o critério baseia-se na redução de 2 log no número de UFC/mL inicialmente inoculados para bactérias no 14º dia e, no 28º dia, a contagem não deve aumentar em relação ao 14º dia. Já para bolores e leveduras, não deve haver aumento no número de UFC/mL inicialmente inoculados no 14º e 28º dias. Os quesitos para a eficácia do conservante são cumpridos se seguirem aos critérios estabelecidos para cada categoria de produto [2].

### 3.4 Teste de triagem preliminar

Nesse ensaio, o produto avaliado é colocado frente a condições extremas de temperatura, a fim de acelerar possíveis reações entre seus componentes e o surgimento de sinais que devem ser observados e analisados seguindo as características específicas de cada tipo de produto. Devido às condições em que é conduzido, este estudo não tem a finalidade de estimar o prazo de validade do produto, mas sim de auxiliar na triagem das formulações [31].

### 3.4.1 Centrifugação

Após o ciclo de 30 minutos, todas as formulações, incluindo o Gel T1 e T2, mantiveram as características normais: incolor/levemente amarelado, homogêneo, transparente e com odor característico. Segundo o Guia de Estabilidade de Produtos Cosméticos, Brasil (2004) [31], após a centrifugação, o produto deve permanecer estável, sem quaisquer sinais de instabilidade. Caso contrário, qualquer sinal de alteração indica que o produto necessita de reformulação. Se aprovado nesse teste, a formulação pode ser submetida aos próximos testes de estabilidade.

### 3.4.2 Estresse térmico

No teste de estresse térmico, cuja temperatura inicial foi de 40°C, aumentando-se progressivamente até 80°C, mantidos durante 30 minutos em cada temperatura, a viscosidade das formulações Gel T1 e T2 e de ambos Gel C+ e C- foi alterada a partir da temperatura a 50°C, definido como “levemente modificado” (LM). Em 70°C, houve alterações mais bruscas da viscosidade, atribuindo a característica de “modificado” (M) para todas as formulações. O ensaio em questão permitiu estabelecer a temperatura de armazenamento da formulação testada, ou seja, sua melhor estabilidade foi até 50°C. Assim, deduziu-se que não seria necessário fazer uma reformulação, visto que, dificilmente, quando utilizado pelo consumidor, o produto será exposto a mais de 35°C.

## 3.5 Teste de Estabilidade Acelerada

Condições extremas de temperatura foram aplicadas com o objetivo de acelerar possíveis sinais de instabilidade entre os componentes da formulação [31]. A multiplicação de microrganismos nos produtos pode ocasionar alteração em propriedades químicas ou físicas, separação de fases, descoloração ou mudança no pH [54].

### 3.5.1 Ciclo Gelo/Degelo

O pH inicial do Gel T1 foi de 5.8; o Gel T2 apresentou pH 5.7, enquanto o Gel C+ e C- apresentaram ambos pH de 6.0. Isso se deve ao fato de que as micocinas possuem característica ácida, aproximadamente pH 4.7 [15,24,55] e sua incorporação desencadeou uma pequena variação de pH na formulação quando comparada aos controles (Figura 3). Durante este estudo, o pH evidenciou variações mínimas de acordo com o esperado. Após o 7º dia, houve uma leve modificação no odor em ambas as formulações Gel T1 e Gel T2. Todas as formulações apresentaram viscosidades de 100 dPA-s<sup>-1</sup> sem alterações ao longo dos dias.

Segundo Brasil (2004), nos estudos de estabilidade, pequenas variações de pH são permitidas, desde que não ultrapassem 10% dos resultados. O pH da derme está entre 5-6 em condições normais, valores que podem variar conforme a raça, tom ou cor da pele, exposição à luz solar e a doenças. O pH de uma formulação tópica deve estar de acordo com o pH do tecido cutâneo, para que o produto seja bem aceito pelo tecido [56]. Os valores de pH obtidos para as formulações Gel T1 e Gel T2 estiveram de acordo com o pH normal da pele. As variações das características organolépticas foram mínimas e permaneceram dentro do esperado.

A densidade das formulações manteve-se dentro dos valores preconizados, sendo que os coeficientes de variação para Gel T1 (0,88%), Gel T2 (0,62%), Gel C+ (0,67%) e Gel C- (0,60%) foram ínfimos, demonstrando homogeneidade nos resultados (Figura 4). A densidade relativa usualmente adotada é definida como a relação entre a massa de uma substância ao ar a 20°C e a massa de igual volume de água na mesma temperatura. Para líquidos ou semissólidos, a densidade pode indicar a incorporação de ar ou a perda de ingredientes voláteis [57]. De acordo com o Guia de Controle de Qualidade de Produtos Cosméticos da ANVISA (2008), a densidade de produtos semissólidos deve manter-se entre 0,95-1,05 g/cm<sup>3</sup>.

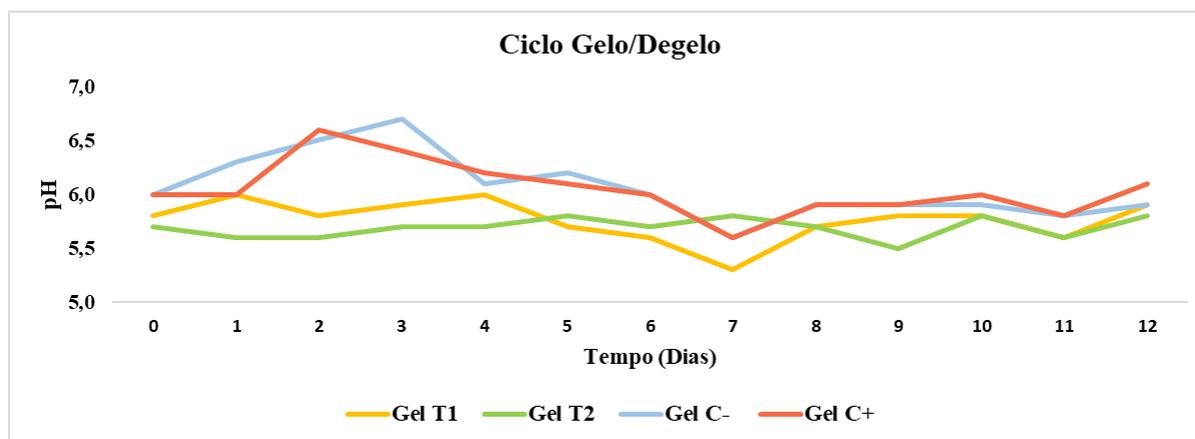


Figura 3: Determinação do pH no ciclo Gelo/Degelo em função do tempo (dias) das formulações Gel T1 (11,4 U/mg  $\beta$ -glucanases), Gel T2 (15,2 U/mg  $\beta$ -glucanases), Gel C+ (com conservante) e Gel C- (sem conservante).

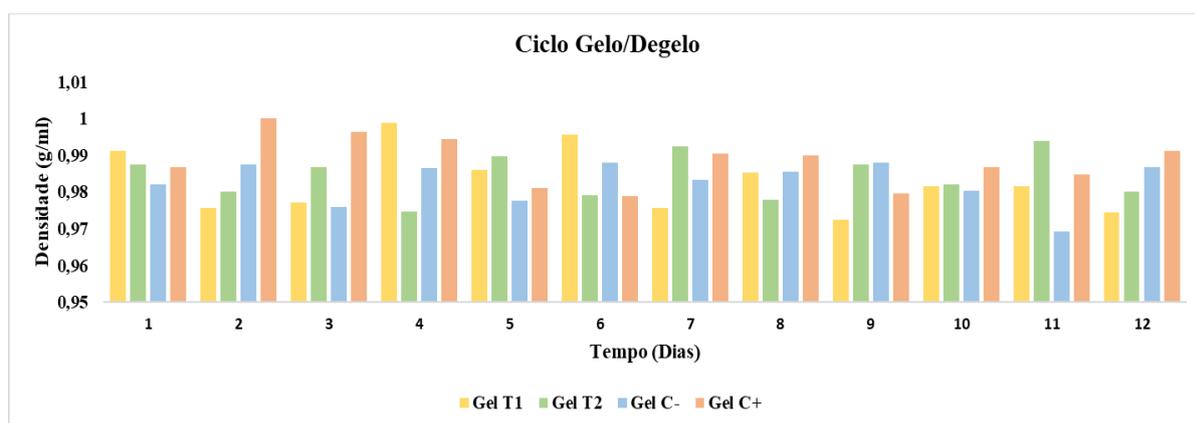


Figura 4: Determinação da densidade relativa no ciclo Gelo/Degelo em função do tempo (dias) do Gel T1 (11,4 U/mg  $\beta$ -glucanases), Gel T2 (15,2 U/mg  $\beta$ -glucanases), Gel C+ (com conservante) e Gel C- (sem conservante).

### 3.6 Teste de Estabilidade Normal

#### 3.6.1 Estufa, geladeira e exposição à luz solar

As amostras submetidas a condições de aquecimento em estufa, resfriamento em geladeira e exposição à luz solar apresentaram densidade estável dentro dos padrões estabelecidos, retratando coeficientes de variação em todas as condições sempre menor que 1% (Figura 5). No que se refere ao pH, em todas as condições submetidas não houve variação maior ou menor que 10% em relação a todas as formulações teste e controles. Contudo, no teste de exposição à luz solar, alterações de odor e viscosidade diminuída foram notáveis em todas as amostras a partir de 15 dias. O teste de estabilidade em luz solar prevê se o produto é sensível ou não à luz solar. Conforme o Guia de Estabilidade de Produtos Cosméticos, os produtos devem permanecer estáveis por, no mínimo, 15 dias em exposição à luz solar. Ainda, consideram-se aceitáveis pequenas alterações para produtos expostos a altas temperaturas, podendo alterar significativamente a cor e o odor da formulação e levar à degradação de ingredientes. Nessas condições, as alterações físico-químicas são frequentes e até mesmo esperadas, sendo que os resultados obtidos devem ser avaliados [31].

O Gel T1 e T2 apresentaram valores de pH conforme a faixa de estabilidade da pele e estabilidade das formulações (Figura 6). O pH ideal para uma formulação é estabelecido de acordo com o pH de estabilidade dos princípios ativos utilizados, como também a tolerância da pele [58]. O teste de Estabilidade Normal objetiva fornecer dados a fim de prever se o produto permanecerá estável de acordo com o período de análise, auxiliando na determinação de sua estabilidade, tempo de validade e compatibilidade com o material de acondicionamento [31].

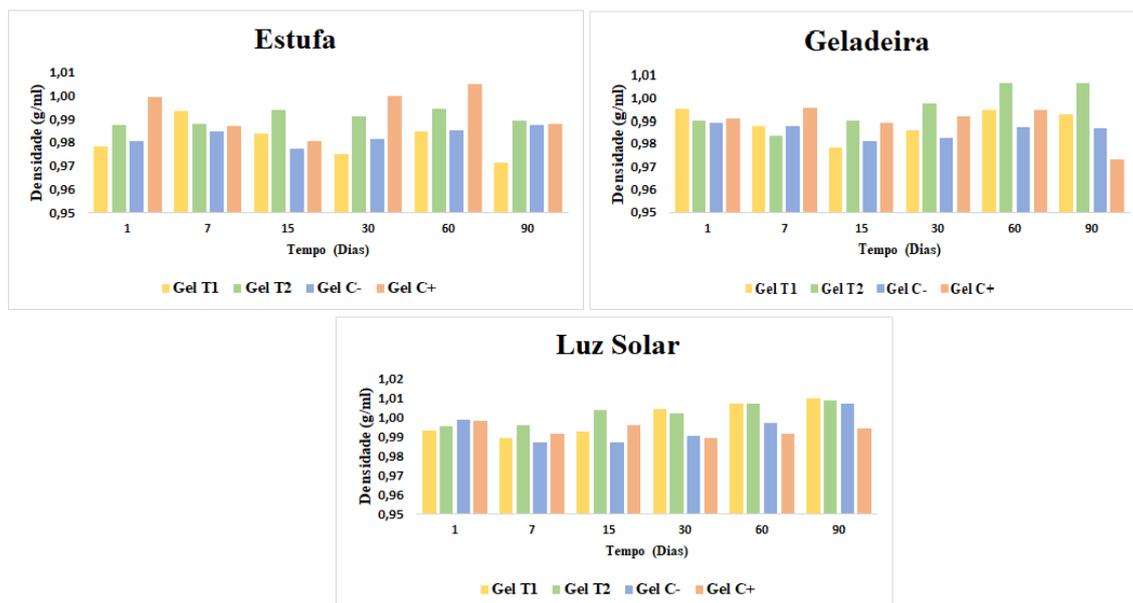


Figura 5: Determinação da densidade relativa no Teste de Estabilidade Normal em relação às diferentes condições de armazenamento (estufa, geladeira e luz solar) em função do tempo (dias) referente às formulações Gel T1 (11,4 U/mg  $\beta$ -glucanases), Gel T2 (15,2 U/mg  $\beta$ -glucanases), Gel C+ (com conservante) e Gel C- (sem conservante).

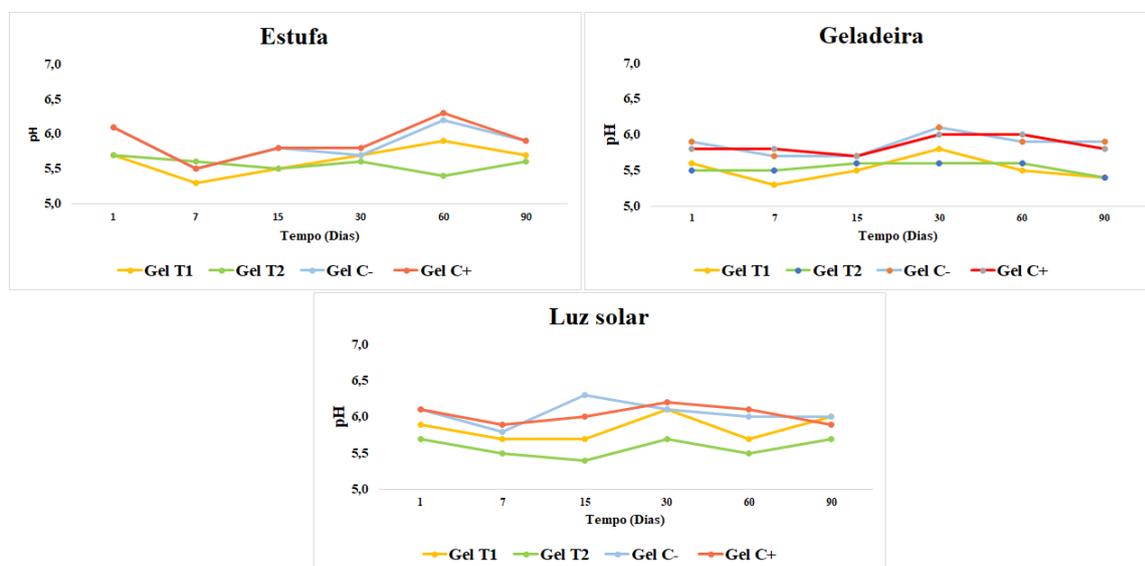


Figura 6: Determinação do pH no Teste de Estabilidade Normal em relação às diferentes condições de armazenamento (estufa, geladeira e luz solar) em função do tempo (dias) referente às formulações Gel T1 (11,4 U/mg  $\beta$ -glucanases), Gel T2 (15,2 U/mg  $\beta$ -glucanases), Gel C+ (com conservante) e Gel C- (sem conservante).

### 3.7 Teste de Prateleira

Durante o teste de prateleira, as formulações se mantiveram estáveis, sem alterações de suas características físico-químicas (pH, densidade e viscosidade) e organolépticas (cor, odor e aspecto) (Figuras 7 e 8). O *shelf life* tem por finalidade validar os limites de estabilidade, avaliando o comportamento do produto em condições normais de armazenamento [31].

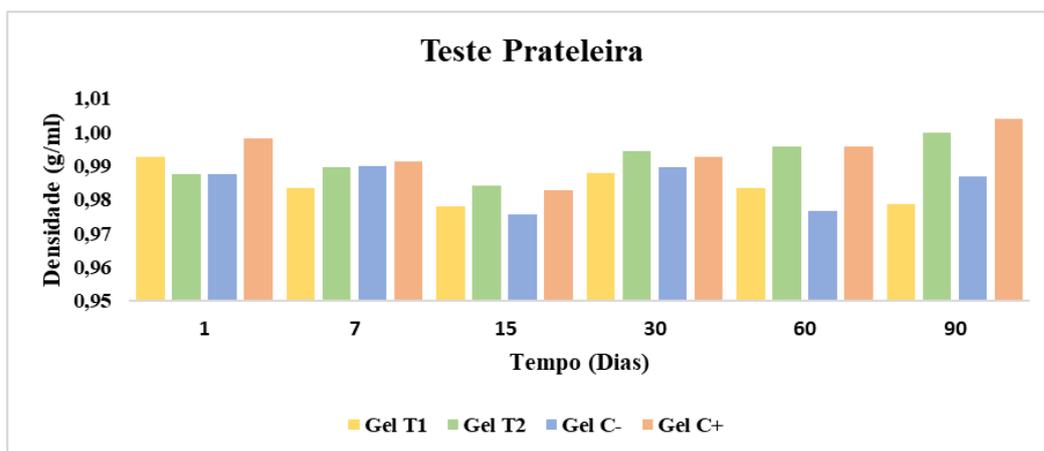


Figura 7: Determinação da densidade relativa no Teste de Prateleira em condições normais de armazenamento (25°C) em função do tempo (dias) referente às formulações Gel T1 (11,4 U/mg  $\beta$ -glucanases), Gel T2 (15,2 U/mg  $\beta$ -glucanases), Gel C+ (com conservante) e Gel C- (sem conservante).

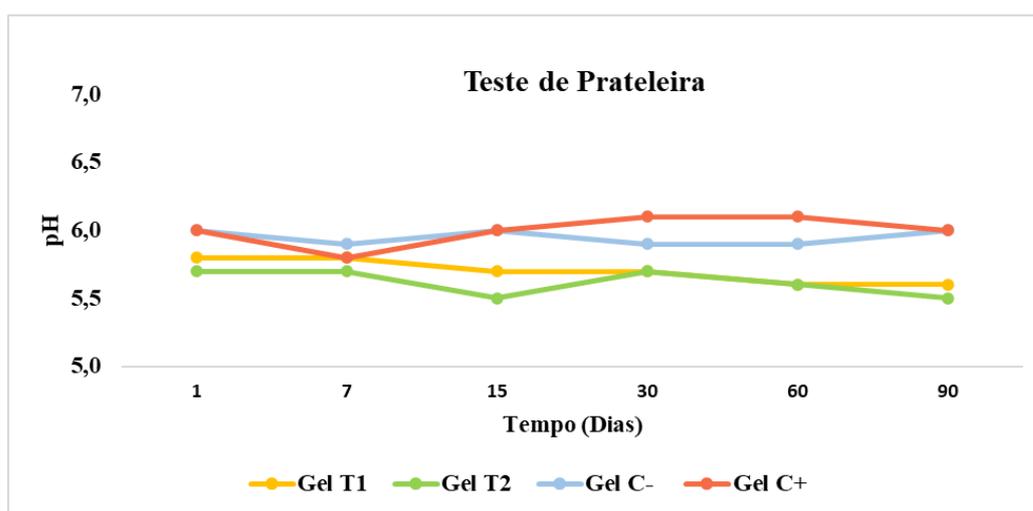


Figura 8: Determinação do pH no Teste de Prateleira em condições normais de armazenamento (25°C) em função do tempo (dias) referente às formulações Gel T1 (11,4 U/mg  $\beta$ -glucanases), Gel T2 (15,2 U/mg  $\beta$ -glucanases), Gel C+ (com conservante) e Gel C- (sem conservante).

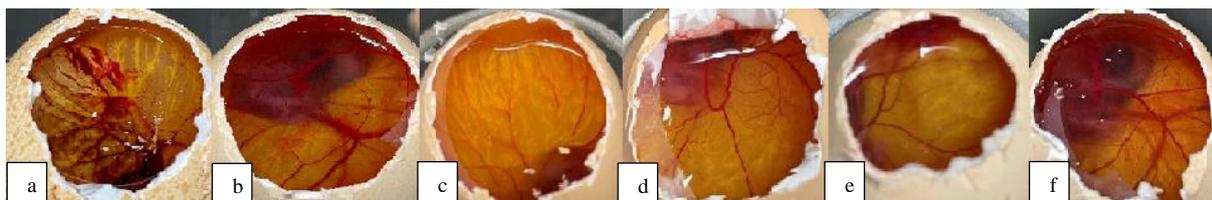
Tendo em vista os aspectos físico-químicos e organolépticos mensurados nos Testes de Estabilidade, de forma geral, constatou-se que as formulações incorporadas com micocinas (Gel T1 e Gel T2) apresentaram a melhor estabilidade em condições normais de armazenamento a 25°C, sem alterações de cor, odor e aspecto, como também variações mínimas de pH, densidade e viscosidade. Dentre as condições extremas de armazenamento, houve maiores variações das formulações quando expostas a temperaturas elevadas, alterando o odor e viscosidade, no entanto, com os limites em conformidade com a literatura.

### 3.8 Teste em Membrana Cório-Alantoide de Ovo Embrionado de Galinha (HET-CAM)

Neste ensaio, as formulações Gel T1 e T2 não apresentaram sinais de irritação na membrana em nenhuma de suas concentrações, como também nos controles Gel C- e Gel C+, sendo classificados como formulações não irritantes (Figura 7). A irritação da membrana cório-alatoide foi ponderada mediante avaliação visual através do surgimento de hiperemia, hemorragia e coagulação. Ao final, uma pontuação foi obtida e analisada através de uma escala que variou de praticamente não irritante até irritante, logo, a formulação foi classificada conforme o nível de irritação visual.

A membrana-córioalantoide é um tecido altamente vascularizado presente no interior do ovo de galinha fertilizado. Esse tecido, além de constituir uma membrana com respiração, caracteriza-se por assemelhar-se ao tecido da conjuntiva dos olhos de coelho por possuir um processo inflamatório semelhante ao mesmo [59]. Trata-se de uma metodologia alternativa para avaliação do potencial irritante

de produtos e substâncias em substituição ao teste de Draize [59,60]. As indústrias de cosméticos são as maiores beneficiadas dessa técnica, levando-se em consideração que produtos cosméticos são desenvolvidos para ter pouca ou nenhuma penetração no tecido, mas permanecem em contato com a pele durante longos períodos e, devido a isso, sua garantia de segurança deve envolver os testes de irritabilidade dérmica e oftálmica [61]. No estudo envolvendo micocinas produzidas por *W. anomalus*, Rosseto et al. (2022) [41] avaliaram o potencial de irritação do sobrenadante contendo micocinas de forma pura em HET-CAM, classificando-a como segura e não irritante. Madariaga et al. (2006) [61] avaliaram o potencial irritante de cremes cosméticos incorporados com extrato alcoólico de própolis, aloe e vera e camomila a 5% no teste HET-CAM, os quais foram classificados como não irritantes por não apresentarem nenhum sinal de irritabilidade na membrana. Um estudo envolvendo células epiteliais de córnea humana foi desenvolvido para avaliar a citotoxicidade e irritação ocular de vários medicamentos oftálmicos e excipientes de colírios. Dentre as substâncias testadas, o metilparabeno não apresentou reação de toxicidade às células, mesmo após 60 minutos de exposição [62]. Diante disso, assim como o metilparabeno comumente utilizado em diversos produtos, as micocinas, quando incorporadas em formulação, podem ser consideradas não irritantes para a membrana ocular.



*Figura 9: Teste de irritabilidade de membrana (HET-CAM). Controle Positivo (a) membrana altamente irritada após aplicação de NaOH (0,1 N), Controle Negativo (b) membrana íntegra, com aplicação de solução salina (NaCl 0,9%), Gel T1 (11,4 U/mg  $\beta$ -glucanases) (c) Gel T2 (15,2 U/mg  $\beta$ -glucanases) (d) Gel C+ (com conservante) (e) Gel C- (sem conservante) (f), respectivamente com membranas íntegras sem alterações. Todas as imagens foram capturadas ao final do teste com tempo de 5 minutos.*

No atual momento, a indústria cosmética se depara com a falta considerável de conservantes menos tóxicos. Em decorrência disso, há um interesse considerável no desenvolvimento de novos sistemas conservantes seguros e eficazes. Substâncias com amplo espectro de atividade antimicrobiana e de baixa toxicidade, visando maior perfil de segurança, como extratos de plantas, óleos essenciais e as micocinas, são alternativas futuras interessantes. Nesse cenário, a utilização de substâncias bioativas de origem natural, de baixa toxicidade e resistência microbiana representa uma atitude inovadora, em que componentes sintéticos são substituídos por naturais, apresentando fundamental relevância no desenvolvimento de novos insumos; ademais, constitui também uma atitude sustentável.

#### 4. CONCLUSÃO

As micocinas presentes no sobrenadante de cultura de *Wickerhamomyces anomalus* WA92 mostraram atividade inibitória sobre os microrganismos padrão testados em microdiluição. Quando incorporadas à formulação gel em diferentes concentrações Gel T1 (11,4 U/mg) e Gel T2 (15,2 U/mg) apresentaram eficácia conservante frente a bactérias, fungo filamentosos e levedura em ambas as concentrações. Em relação aos testes de estabilidade, as formulações incorporadas com micocinas atenderam aos critérios preconizados, mostrando-se estáveis em diferentes condições de armazenamento. Ainda, no teste de irritabilidade de membrana, as formulações testes foram classificadas como não irritantes. Os resultados descritos sugerem que as micocinas produzidas por *W. anomalus* sejam uma substância com ação antimicrobiana promissora e segura para o desenvolvimento de novos sistemas conservantes em formulações.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Halla N, Fernandes IP, Heleno SA, Costa P, Boucherit-Otmani Z, Boucherit K, et al. Cosmetics preservation: A review on present strategies. *Molecules*. 2018;23(7):1–41, doi: 10.3390/molecules23071571.
2. BRASIL. Farmacopeia Brasileira, 6a edição. Farm Bras 6a edição. 2019;1:60–9, 72–85.
3. Herman A. Antimicrobial Ingredients as Preservative Booster and Components of Self-Preserving Cosmetic Products. *Curr Microbiol* [Internet]. 2019;76(6):744–54. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s00284-018-1492-2>.
4. Fransway AF, Fransway PJ, Belsito D V., Yiannias JA. Paraben Toxicology. *Dermatitis*. 2019;30(1):32–45, doi: 10.1097/DER.0000000000000428.
5. Nowak K, Ratajczak-Wrona W, Górska M, Jabłońska E. Parabens and their effects on the endocrine system. *Mol Cell Endocrinol* [Internet]. 2018;474:238–51. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.mce.2018.03.014>
6. Darbre, PD, Harvey PW. Paraben esters: review of recent studies of endocrine toxicity, absorption, esterase and human exposure, and discussion of potential human health risks. *J Appl Toxicol*. 2008;27(July):511–8, doi:10.1002/jat.1358.
7. Dagher Z, Borgie M, Magdalou J, Chahine R, Greige-Gerges H. P-Hydroxybenzoate esters metabolism in MCF7 breast cancer cells. *Food Chem Toxicol* [Internet]. 2012;50(11):4109–14. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2012.08.013>
8. SCCS. Opinion on parabens. [Internet]. Safety, Scientific Committee on Consumer(SCCS),. 2010 [cited 2020 Aug 8]. Available from: [https://ec.europa.eu/health/scientific\\_committees/consumer\\_safety/docs/sccs\\_o\\_041.pd%0Af](https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/consumer_safety/docs/sccs_o_041.pd%0Af)
9. Polonelli L, Archibusacci C, Sestito M, Morace G. Killer system: a simple method for differentiating *Candida albicans* strains. *J Clin Microbiol*. 1983 May;17(5):774–80, doi: 10.1128/jcm.17.5.774-780.1983.
10. Izgü F, Altınbay D, Türeli AE. In vitro activity of panomycocin, a novel exo- $\beta$ -1,3-glucanase isolated from *Pichia anomala* NCYC 434, against dermatophytes. *Mycoses*. 2007;50(1):31–4, doi: 10.1111/j.1439-0507.2006.01303.x.
11. Izgu DA, Kepekci RA, Izgu F. Inhibition of *Penicillium digitatum* and *Penicillium italicum* in vitro and in planta with Panomycocin, a novel exo- $\beta$ -1,3-glucanase isolated from *Pichia anomala* NCYC 434. *Antonie van Leeuwenhoek, Int J Gen Mol Microbiol*. 2011;99(1):85–91, doi: 10.1007/s10482-010-9527-0.
12. Muccilli S, Wemhoff S, Restuccia C, Meinhardt F. Exoglucanase-encoding genes from three *Wickerhamomyces anomalus* killer strains isolated from olive brine. *Yeast*. 2013 Jan;30(1):33–43.
13. Bajaj BK, Raina S, Singh S. Killer toxin from a novel killer yeast *Pichia kudriavzevii* RY55 with idiosyncratic antibacterial activity. *J Basic Microbiol*. 2013;53(8):645–56, doi: 10.1002/jobm.201200187.
14. Seddik HA, Ceugniz A, Bendali F, Cudennec B, Drider D. Yeasts isolated from Algerian infants's feces revealed a burden of *Candida albicans* species, non-*albicans* *Candida* species and *Saccharomyces cerevisiae*. *Arch Microbiol*. 2016;198(1):71–81, doi: 10.1007/s00203-015-1152-x.
15. Paris AP, Persel C, Serafin CF, de Cássia Garcia Simão R, Gandra RF. Susceptibility of *Candida albicans* Isolated from Blood to *Wickerhamomyces anomalus* Mycocins. *Curr Microbiol*. 2016;73(6):878–84, doi: 10.1007/s00284-016-1135-4.
16. Giovati L, Santinoli C, Ferrari E, Ciociola T, Martin E, Bandi C, et al. Candidacidal activity of a novel killer toxin from *wickerhamomyces anomalus* against fluconazole-susceptible and -resistant strains. *Toxins (Basel)*. 2018;10(2):1–11, doi:10.3390/toxins10020068.
17. Guo F-J, Ma Y, Xu H-M, Wang X-H, Chi Z-M. A novel killer toxin produced by the marine-derived yeast *Wickerhamomyces anomalus* YF07b. *Antonie Van Leeuwenhoek*. 2013 Apr;103(4):737–46, doi 10.1007/s10482-012-9855-3.
18. Lowes KF, Shearman CA, Payne J, MacKenzie D, Archer DB, Merry RJ, et al. Prevention of Yeast Spoilage in Feed and Food by the Yeast Mycocin HMK. 2000, doi: 10.1128/aem.66.3.1066-1076.2000.
19. Nostro A, Cannatelli MA, Morelli I, Musolino AD, Scuderi F, Pizzimenti F, et al. Efficiency of *Calamintha officinalis* essential oil as preservative in two topical product types. *J Appl Microbiol*. 2004;97(2):395–401, doi: 10.1111/j.1365-2672.2004.02319.x.
20. Kurtzman CP. Phylogeny of the ascomycetous yeasts and the renaming of *Pichia anomala* to *Wickerhamomyces anomalus*. *Antonie van Leeuwenhoek, Int J Gen Mol Microbiol*. 2011;99(1):13–23, doi: 10.1007/s10482-010-9505-6.
21. Muccilli S, Wemhoff S, Restuccia R, Meinhardt F. Identification of an NADH-dependent 5-hydroxymethylfurfural-reducing alcohol dehydrogenase in. *Yeast*. 2012;(November 2012):191–8, doi: 10.1002/yea.1578.
22. Passoth V, Olstorpe M, Schnürer J. Past, present and future research directions with *Pichia anomala*. *Antonie van Leeuwenhoek, Int J Gen Mol Microbiol*. 2011;99(1):121–5, doi: 10.1007/s10482-010-9508-3.
23. Junges DSB, Delabeneta MF, Rosseto LRB, Nascimento BL, Paris AP, Persel C, et al. Antibiotic Activity of *Wickerhamomyces anomalus* Mycocins on Multidrug-Resistant *Acinetobacter baumannii*. *Microb Ecol*. 2020;80(2):278–85, doi: 10.1007/s00248-020-01495-9.

24. Nascimento BL, Delabeneta MF, Rosseto LRB, Junges DSB, Paris P, Persel C, et al. Yeast Mycocins: a great potential for application in health. *FEMS Yeast Res.* 2020;20(3), doi: 10.1093/femsyr/foaa016.
25. Miller GL. Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. *Anal Chem.* 1959;31(3):426–8, doi: <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>.
26. Bradford MM. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal Biochem.* 1976 May;72(1–2):248–54, doi: 10.1006/abio.1976.9999.
27. CLSI. Reference Method for Broth Dilution Antifungal Susceptibility Testing of Yeasts ; Approved Standard — Second Edition Serving the World ' s Medical Science Community Through Voluntary Consensus. Vol. 22, NCCLS standards and guidelines. 2008. 1–29 p.
28. CLSI CLSI. Reference method for broth dilution. Ref method broth dilution Antifung susceptibility Test Filamentous Fungi Approv Stand 3th ed [Internet]. 2017;28(14):0–13. Available from: [https://clsi.org/media/1461/m27a3\\_sample.pdf](https://clsi.org/media/1461/m27a3_sample.pdf)
29. CLSI CLSI. Methods for Dilution Antimicrobial Susceptibility Tests for Bacteria That Grow Aerobically. *Clin Lab Standars Inst.* 2018;32(2):18.
30. BRASIL. Guia de controle de qualidade de produtos cosméticos: Uma abordagem sobre os ensaios físicos e químicos [Internet]. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). 2008. 26–38 p. Available from: [http://www.anvisa.gov.br/cosmeticos/material/guia\\_cosmetico.pdf](http://www.anvisa.gov.br/cosmeticos/material/guia_cosmetico.pdf)
31. BRASIL. Guia de estabilidade de produtos cosméticos - séries temáticas [Internet]. Vol. 1, Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). 2004. 52 p. Available from: [www.anvisa.gov.br](http://www.anvisa.gov.br)
32. IDSON B. Stability testing of emulsions. *I Drug Cosmet Ind.* 1993;151(1):27–30.
33. IDSON B. Stability testing of emulsions. *I Drug Cosmet Ind.* 1993;151(2):38–40, 42–3
34. Française JO de la R. Arête du 27 décembre 1996 relatif aux méthodes d'analyse nécessaires au contrôle de la composition des produits cosmétiques. Annexe IV: méthode officiel d'évaluation du potentiel irritant par application sur la membrane chorioallantoïdienne de l'œuf de po. 1996;14866:19137-8.
35. ICCVAM. ICCVAM TEST METHOD EVALUATION REPORT- In Vitro Ocular Toxicity Test Methods for Identifying Severe Irritants and Corrosives. *Fed Regist.* 2006;(November).
36. Steiling W, Bracher M, Courtellemont P, De Silva O. The HET-CAM, a useful in vitro assay for assessing the eye irritation properties of cosmetic formulations and ingredients. *Toxicol Vit.* 1999;13(2):375–84, doi: 10.1016/s0887-2333(98)00091-5
37. Vinardell MP, García L. The quantitative chorioallantoic membrane test using trypan blue stain to predict the eye irritancy of liquid scintillation cocktails. *Toxicol Vit.* 2000;14(6):551–5, doi: 10.1016/s0887-2333(00)00050-3.
38. Vinardell MP, Mitjans M. The chorioallantoic membrane test as a model to predict the potential human eye irritation induced by commonly used laboratory solvents. *Toxicol Vit.* 2006;20(6):1066–70, doi: 10.1016/j.tiv.2005.11.004.
39. Lima JR, Gondim DMF, Oliveira JTA, Oliveira FSA, Gonçalves LRB, Viana FMP. Use of killer yeast in the management of postharvest papaya anthracnose. *Postharvest Biol Technol.* 2013;83:58–64, doi: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.03.014>.
40. Calazans GF, Silva JC, Delabeneta MF, Paris AP, Yassuda Filho P, Auler ME, et al. Antimicrobial activity of wickerhamomyces anomalus mycocins against strains of staphylococcus aureus isolated from meats. *Food Sci Technol.* 2021;41(2):388–94, doi: <https://doi.org/10.1590/fst.39319>.
41. Rosseto LR., Martelli EC, da Silva JC et al. Susceptibility of Candida albicans Strains Isolated from Vaginal Secretion in Front of the Mycocins of Wickerhamomyces anomalus. *Probiotics Antimicrob Proteins* 2022, doi: 10.1007/s12602-022-09940-6.
42. Bielecki S, Galas E. Microbial p-Gfucanases Different From Cellulases. *Biotechnology.* 1991;10(4):275–304, doi: 10.3109/07388559109038212.
43. Bauermeister A, Rezende MI, Giese EC, Dekker RFH, Barbosa AM. Fungal B-1,3-Glucanases: production and biotechnological applications. *Semin Ciências Exatas e Tecnológicas.* 2010;V. 31:75–86, doi: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0375.2010v31n2p75>.
44. Iorio E, Torosantucci A, Bromuro C, Chiani P, Ferretti A, Giannini M, et al. Candida albicans cell wall comprises a branched beta-D-(1-->6)-glucan with beta-D-(1-->3)-side chains. *Carbohydr Res.* 2008 May;343(6):1050–61, doi: 10.1016/j.carres.2008.02.020.
45. Chaari F, Chaabouni SE. Fungal  $\beta$ -1,3-1,4-glucanases: production, proprieties and biotechnological applications. *J Sci Food Agric.* 2019;99(6):2657–64, <https://doi.org/10.1002/jsfa.9491>.
46. Sawant AD, Abdelal AT, Ahearn DG. Anti-Candida albicans activity of Pichia anomala as determined by a growth rate reduction assay. *Appl Environ Microbiol.* 1988;54(5):1099–103, doi:10.1128/aem.54.5.1099-1103.1988.
47. Chen Y, Aorigele C, Wang C, Simujide H, Yang S. Screening and Extracting Mycocin Secreted by Yeast Isolated from Koumiss and Their Antibacterial Effect. *J Food Nutr Res.* 2015;3(1):52–6, doi: 10.12691/jfnr-3-1-9.

48. Petersson S, Schnurer J. Erratum: Biocontrol of mold growth in high-moisture wheat stored under airtight conditions by *Pichia anomala*, *Pichia guilliermondii*, and *Saccharomyces cerevisiae* (Applied and Environmental Microbiology 61:3 (1029)). *Appl Environ Microbiol.* 1995;61(4):1677, doi: 10.1128/aem.61.3.1027-1032.1995.
49. Hernandez C, Pina ES, Taleb-Contini SH, Bertoni BW, Cestari IM, Espanha LG, et al. *Lippia origanoides* essential oil: an efficient and safe alternative to preserve food, cosmetic and pharmaceutical products. *J Appl Microbiol.* 2017;122(4):900–10, doi: 10.1111/jam.13398.
50. Muyima NYO, Zulu G, Bhengu T, Popplewell D. The potential application of some novel essential oils as natural cosmetic preservatives in a aqueous cream formulation. *Flavour Fragr J.* 2002;17(4):258–66, <https://doi.org/10.1002/ffj.1093>.
51. Herman A, Herman AP, Domagalska BW, Młynarczyk A. Essential Oils and Herbal Extracts as Antimicrobial Agents in Cosmetic Emulsion. *Indian J Microbiol.* 2013;53(2):232–7, doi: 10.1007/s12088-012-0329-0.
52. Herman A. Comparison of Antimicrobial Activity of Essential Oils, Plant Extracts and Methylparaben in Cosmetic Emulsions: 2 Months Study. *Indian J Microbiol.* 2014;54(3):361–4, doi: 10.1007/s12088-014-0454-z.
53. Ostrosky EA, Marcondes EMC, Nishikawa SO, Lopes PS, Varca GHC, Pinto TJA, et al. *Rubus rosaefolius* extract as a natural preservative candidate in topical formulations. *AAPS PharmSciTech.* 2011;12(2):732–7, doi: 10.1208/s12249-011-9635-9.
54. Patrone V, Campana R, Vittoria E, Baffone W. In vitro synergistic activities of essential oils and surfactants in combination with cosmetic preservatives against *Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus aureus*. *Curr Microbiol.* 2010;60(4):237–41, doi: 10.1007/s00284-009-9531-7.
55. Junges DSB, Delabeneta MF, Rosseto LRB, Nascimento BL, Paris AP, Persel C, et al. Antibiotic Activity of *Wickerhamomyces anomalus* Mycocins on Multidrug-Resistant *Acinetobacter baumannii*. *Microb Ecol.* 2020;80(2):278–85, doi: 10.1007/s00248-020-01495-9.
56. Yorgancioglu A, Bayramoglu EE. Production of cosmetic purpose collagen containing antimicrobial emulsion with certain essential oils. *Ind Crops Prod* [Internet]. 2013;44:378–82. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.11.013>
57. Melo CAS, Domingues RJ, Lima AB de. *Elaboração de Géis e Análise de Estabilidade de Medicamentos.* 2018. 53 p.
58. Silva JA, Santana DP, Bedor DGCF da CB, Lira AAM, Lira AAM. Estudo da liberação e permeação in vitro do diclofenaco de dietilamônio em microemulsão gel-ike. *Quim Nov.* 2009;32(6):1389–93, <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000600005>.
59. Gilleron L, Coecke S, Sysmans M, Hansen E, Van Oproy S, Marzin D, et al. Evaluation of a modified HET-CAM assay as a screening test for eye irritancy. *Toxicol Vitro.* 1996;10(4):431–46, doi: 10.1016/0887-2333(96)00021-5.
60. Draize JH, Woodard G, Calvery HO. Methods for the study of irritation and toxicity of substances applied topically to the skin and mucous membranes. *J Pharmacol Exp Ther.* 1944;82:377–90.
61. Madariaga YG, Alfonso OC, Sánchez C. Evaluación de la irritabilidad oftálmica de cremas cosméticas mediante un método in vitro en sustitución de la prueba en conejos. *REDVET Rev Electrónica Vet.* 2006;VII(3):1–7. Available from: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63612698006>.
62. Saarinen-Savolainen, PJT, Araki-Sasaki K, Watanabe H, Urtti A. Evaluation of Cytotoxicity of Various Ophthalmic Drugs, Eye Drop Excipients and Cyclodextrins in an Immortalized Human Corneal Epithelial Cell Line. 1988, doi: <https://doi.org/10.1023/A:1011956327987>.

## 5. CONCLUSÃO

Este estudo evidencia o potencial antimicrobiano e conservante das micocinas de *Wickerhamomyces anomalus* WA92, quando incorporadas em formulação, que, em ensaios microbiológicos e em meio líquido, mostrou inibir diferentes cepas de microrganismos: *Escherichia coli* (ATCC 8739), *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 9027), *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538), *Candida albicans* (ATCC 10231) e *Aspergillus niger* (ATCC 16404), mesmo em baixas concentrações de  $\beta$ -glucanases. Além disso, em testes de controle de qualidade e irritação de membrana, mostrou-se estável e não irritante.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAJAJ, B. K.; RAINA, S.; SINGH, S. Killer toxin from a novel killer yeast *Pichia kudriavzevii* RY55 with idiosyncratic antibacterial activity. **Journal of Basic Microbiology**, v. 53, n. 8, p. 645–656, 2013.

BEVAN, E. A.; MAKOWER, M. The physiological basis of the killer character in yeast. **Proc. 11th Int. Cong. Gene**, Netherlands, v. 1, 1963.

BILINSKI, C. A.; INNAMORATO, G.; STEWART, G. G. Identification and characterization of antimicrobial activity in two yeast genera. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 50, n. 5, p. 1330–1332, 1985.

BOMBAYWALA, S.; MANDPE, A.; PALIYA, S.; KUMAR, S. Antibiotic resistance in the environment: a critical insight on its occurrence, fate, and eco-toxicity. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 24889–24916, 2021.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Formulário Nacional da Farmacopeia Brasileira**. 2ª ed. Brasília, 2012.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Guia de controle de qualidade de produtos cosméticos: Uma abordagem sobre os ensaios físicos e químicos**, 2008.

BRASIL. **Farmacopeia Brasileira, 6ª edição**. ANVISA, v. 1, p. 60–69, 72–85, 2019.

BROWN, D. W.; PHYLOGENETIC, K. P. Á.; MICROARRAY, Á. The KP4 killer protein gene family. **Current genetics**, p. 51–62, 2011.

CALAZANS, G. F.; DA SILVA, J. C.; DELABENETA, M. F.; PARIS, A. P.; FILHO, P. Y.; AULER, M. E.; MENOLLI, R. A.; PAULA, C. R.; SIMÃO, R. C.; GANDRA R. F. Antimicrobial activity of wickerhamomyces anomalus mycocins against strains of staphylococcus aureus isolated from meats. **Food Science and Technology (Brazil)**, v. 41, n. 2, p. 388–394, 2021.

CAPPELLI, A.; ULISSI, U.; VALZANO, M.; DAMIANI, C.; EPIS, S.; GABRIELLI, M. G.; CONTI, S.; POLONELLI, L.; BANDI, C.; FAVIA, G.; RICCI, I. A *Wickerhamomyces anomalus* killer strain in the malaria vector *Anopheles stephensi*. **PLoS ONE**, v. 9, n. 5, 2014.

CECARINI, V.; CUCCIOLONI, M.; BONFILI, L.; RICCIUTELLI, M.; VALZANO, M.; CAPPELLI, A.; AMANTINI, C.; FAVIA, G.; ELEUTERI, A. M.; ANGELETTI M.; RICCI, I. Identification of a killer toxin from *wickerhamomyces anomalus* with  $\beta$ -glucanase activity. **Toxins**, v. 11, n. 10, p. 5–7, 2019.

CEUGNIEZ, A.; DRIDER, D.; JACQUES P.; COUCHENEY F. Yeast diversity in a traditional French cheese “Tomme d’orchies” reveals infrequent and frequent species with associated benefits. **Food Microbiology**, v. 52, p. 177–184, 2015.

CHEN, Y.; AORIGELE, C.; WANG, C.; SIMUJIDE, H.; YANG, S. Screening and Extracting Mycocin Secreted by Yeast Isolated from Koumiss and Their Antibacterial Effect. **Journal of Food and Nutrition Research**, v. 3, n. 1, p. 52–56, 2015.

DAGHER, Z.; BORGIE, M.; MAGDALOU, J.; CHAHINE, R.; GREIGE-GERGES H.P. Hydroxybenzoate esters metabolism in MCF7 breast cancer cells. **Food and Chemical Toxicology**, v. 50, n. 11, p. 4109–4114, 2012.

DARBRE, P. D., HARVEY P. W. Paraben esters: review of recent studies of endocrine toxicity, absorption, esterase and human exposure, and discussion of potential human health risks. **Journal of Applied Toxicology**, v. 27, n. July, p. 511–518, 2008.

FERREIRA, A. O. Guia Prático da Farmácia Magistral. 4<sup>a</sup> ed. São Paulo: Pharmabooks, 2010. 736 p. **São Paulo: Pharmabooks**, p. 736 p., 2010.

FRANÇA, R. C.; CONCEIÇÃO F. R.; MENDONÇA, M.; HAUBERT, L.; SABADIN, G.; DE OLIVEIRA, P. D.; AMARAL, M. G.; DA SILVA W. P.; MOREIRA, A. N. *Pichia pastoris* X-33 has probiotic properties with remarkable antibacterial activity against *Salmonella Typhimurium*. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 99, n. 19, p. 7953–7961, 2015.

FRANSWAY, A. F.; FRANSWAY, P.; BELSITO, D.; YIANNIAS, J. A. Paraben Toxicology. **Dermatitis**, v. 30, n. 1, p. 32–45, 2019.

FREDLUND, E.; DRUVEFORS, U. Ä.; OLSTORPE, M. N.; PASSOTH, V. SCHNÜRER, J. Influence of ethyl acetate production and ploidy on the anti-mould activity of *Pichia anomala*. **FEMS Microbiology Letters**, v. 238, n. 1, p. 133–137, 2004.

GIOVATI, L.; SANTINOLI, C.; FERRARI, E.; CIOCIOLA, T.; MARTIN, ELENA.; BANDI, C.; RICCI, I.; EPIS, S.; CONTI, S. Candidacidal activity of a novel killer toxin from *wickerhamomyces anomalus* against fluconazole-susceptible and -resistant strains. **Toxins**, v. 10, n. 2, p. 1–11, 2018.

GUO, F. J.; MA, Y.; XU, H. M.; WANG, X. H.; CHI, Z. M. A novel killer toxin produced by the marine-derived yeast *Wickerhamomyces anomalus* YF07b. **Antonie van Leeuwenhoek**, v. 103, n. 4, p. 737–46, abr. 2013.

HALLA, N.; FERNANDES, I. P.; HELENO, S. A.; COSTA, P.; BOUCHERIT-OTMANI, Z.; BOUCHERIT, K.; RODRIGUES, A. E.; FERREIRA, I. C.; BARREIRO, M. F. Cosmetics preservation: A review on present strategies. **Molecules**, v. 23, n. 7, p. 1–41, 2018.

HATOUM, R.; LABRIE, S.; FLISS, I. Identification and Partial Characterization of Antilisterial Compounds Produced by Dairy Yeasts. **Probiotics and antimicrobial proteins**, v. 5, n. 1, p. 8–17, mar. 2013.

HAZEN, K. C. New and emerging yeast pathogens. **Clinical Microbiology Reviews**, v. 8, n. 4, p. 462–478, 1995.

HERMAN, A. Antimicrobial Ingredients as Preservative Booster and Components of Self-Preserving Cosmetic Products. **Current Microbiology**, v. 76, n. 6, p. 744–754, 2019.

HUA, S. S.; HERLEM B. J.; YOKOYAMA W.; SARREAL S. B. Intracellular trehalose and sorbitol synergistically promoting cell viability of a biocontrol yeast, *Pichia anomala*, for aflatoxin reduction. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 31, n. 5, p. 729–734, 2015.

IZGÜ, F.; ALTINBAY, D.; TÜRELI, A. E. In vitro activity of panomycocin, a novel exo- $\beta$ -1,3-glucanase isolated from *Pichia anomala* NCYC 434, against dermatophytes. **Mycoses**, v. 50, n. 1, p. 31–34, 2007.

JUNGES, D. S. B.; DELABENETA M. F.; ROSSETO, L. R. B.; NASCIMENTO, B. L.; PARIS, A. P.; PERSEL, C.; LOTH, E. A.; SIMÃO, R. C. G.; MENOLLI, R. A.; PAULA, C. R.; GANDRA, R. F. Antibiotic Activity of *Wickerhamomyces anomalus* Mycocins on Multidrug-Resistant *Acinetobacter baumannii*. **Microbial Ecology**, v. 80, n. 2, p. 278–285, 2020.

KLASSEN, R.; MEINHARDT, F. Induction of DNA damage and apoptosis in *Saccharomyces cerevisiae* by a yeast killer toxin. **Cellular Microbiology**, v. 7, n. 3, p. 393–401, 2005.

KLASSEN, R.; PALUSZYNSKI J. P.; WEMHOFF S.; PLEIFFER A.; FRICKE, J.; MEINHARDT, F. The primary target of the killer toxin from *Pichia acaciae* is tRNA Gln. **Molecular Microbiology**, v. 69, n. 3, p. 681–697, 2008.

KURTZMAN, C. P. Phylogeny of the ascomycetous yeasts and the renaming of *Pichia anomala* to *Wickerhamomyces anomalus*. **Antonie van Leeuwenhoek, International Journal of General and Molecular Microbiology**, v. 99, n. 1, p. 13–23, 2011.

MAGLIANI, W.; CONTI, S.; GERLONI, M.; BERTOLOTTI, D.; POLONELLI, L. Yeast killer systems. **Clinical Microbiology Reviews**, v. 10, n. 3, p. 369–400, 1997.

MAGLIANI, W.; CONTI, S.; SALATI, A.; VACCARI, S.; RAVANETTI, L.; MAFFEI, D. L.; POLONELLI, L. Therapeutic potential of yeast killer toxin-like antibodies and mimotopes. **FEMS Yeast Research**, v. 5, n. 1, p. 11–18, 2004.

MARQUINA, D.; SANTOS, A.; PEINADO, J. M. Biology of killer yeasts. **International Microbiology**, v. 5, n. 2, p. 65–71, 2002.

MARTÍN-POZO, L.; GÓMEZ-REGALADO, M. C.; MOSCOSO-RUIZ, I.; ZAFRA-GÓMEZ, A. Analytical methods for the determination of endocrine disrupting chemicals in cosmetics and personal care products: A review. **Talanta**, v. 234, n. June, p. 122642, 2021.

MELO, C. A.; SOUZA, R. J.; LIMA, A. B. **Elaboração de Géis e Análise de Estabilidade de Medicamentos**. Marabá: UEBA, 2018.

MUCCILLI, S.; RESTUCCIA, C. Bioprotective Role of Yeasts. **Microorganisms**, v. 3, n. 4, p. 588–611, 2015.

MUCCILLI, S.; WEMHOFF, S.; RESTUCCIA, C.; MEINHARDT, F. Exoglucanase-encoding genes from three *Wickerhamomyces anomalus* killer strains isolated from olive brine. **Yeast (Chichester, England)**, v. 30, n. 1, p. 33–43, jan. 2013.

NASCIMENTO, B. L.; DELABENETA, M. F.; ROSSETO, L. R.; JUNGES, D. S.; PARIS, A. P.; PERSEL, C.; GANDRA, R. F. Yeast Mycocins: a great potential for application in health. **FEMS Yeast Research**, v. 20, n. 3, 2020.

NOWAK, K.; RETAJCZAK-WRONA, W.; GÓRSKA, M.; JABŁOŃSKA, E. Parabens and their effects on the endocrine system. **Molecular and Cellular Endocrinology**, v. 474, p. 238–251, 2018.

OLSTORPE, M.; BORLING, J.; SCHNURER, J.; PASSOTH, V. *Pichia anomala* yeast improves feed hygiene during storage of moist crimped barley grain under Swedish farm conditions. **Animal Feed Science and Technology**, v. 156, n. 1–2, p. 47–56, 2010.

OLSTORPE, M.; PASSOTH, V. *Pichia anomala* in grain biopreservation. **Antonie van Leeuwenhoek, International Journal of General and Molecular Microbiology**, v. 99, n. 1, p. 57–62, 2011.

PARIS, A. P.; PERSEL, C.; SERAFIN, C. F.; SIMÃO, R. C.; GANDRA, R. F. Susceptibility of *Candida albicans* Isolated from Blood to *Wickerhamomyces anomalus* Mycocins. **Current Microbiology**, v. 73, n. 6, p. 878–884, 2016.

PASSOTH, V.; OLSTORPE, M.; SCHNÜRER, J. Past, present and future research directions with *Pichia anomala*. **Antonie van Leeuwenhoek, International Journal of General and Molecular Microbiology**, v. 99, n. 1, p. 121–125, 2011.

PETERSSON, S.; SCHNURER, J. Erratum: Biocontrol of mold growth in high-moisture wheat stored under airtight conditions by *Pichia anomala*, *Pichia guilliermondii*, and *Saccharomyces cerevisiae* (*Applied and Environmental Microbiology* 61:3 (1029)). **Applied and Environmental Microbiology**, v. 61, n. 4, p. 1677, 1995.

PINTO, T. J.; KANEKO, T. M.; OHARA, M. T. **Controle Biológico de Qualidade de Produtos Farmacêuticos**. 4<sup>o</sup> ed. São Paulo: Atheneu, 2015.

POLONELLI, L.; BENINATI, C.; TETI, G.; FELICI, F.; CLOCIOLA, T. GIOVATI, L. SPERINDÉ M.; LO PASSO, C.; PERNICE, I.; DOMINA, M.; ARIGÒ, M.; PAPASERGI, S.; MANCUSO, G.; CONTI, S.; MAGLIANI, W. Yeast killer toxin-like candidacidal Ab6 antibodies elicited through the manipulation of the idiotypic cascade. **PLoS ONE**, v. 9, n. 8, p. 1–8, 2014.

POLONELLI, L.; MORACE, G. Reevaluation of the yeast killer phenomenon. **Journal of clinical microbiology**, v. 24, n. 5, p. 866–9, nov. 1986.

REBELLO, T. **Guia de Produtos Cosméticos**. 7<sup>o</sup> ed. São Paulo: Senac, 2008.

SANTOS, A.; MAURO, M. S.; ABRUSCI, C.; MARQUINA, D. Cwp2p, the plasma membrane receptor for *Pichia membranifaciens* killer toxin. **Molecular Microbiology**, v. 64, n. 3, p. 831–843, 2007.

SCCS. Opinion on parabens. **Scientific Committee on Consumer Safety**. 2013. Disponível em: <[https://ec.europa.eu/health/scientific\\_committees/consumer\\_safety/docs/sccs\\_o\\_132.pdf](https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/consumer_safety/docs/sccs_o_132.pdf)>. Acesso em: 07 mai. 2022.

SCHMITT, M. J.; BREINIG, F. The viral killer system in yeast: From molecular biology to application. **FEMS Microbiology Reviews**, v. 26, n. 3, p. 257–276, 2002.

SCHMITT, M. J.; BREINIG, F. Yeast viral killer toxins: lethality and self-protection. **Nature reviews. Microbiology**, v. 4, n. 3, p. 212–221, 2006.

SEDDIK, H. A.; CEUGNEZ, A.; BENDALI, F.; CUDENNEC, B.; DRIDER D.; Yeasts isolated from Algerian infants's feces revealed a burden of *Candida albicans* species, non-*albicans* *Candida* species and *Saccharomyces cerevisiae*. **Archives of Microbiology**, v. 198, n. 1, p. 71–81, 2016.

SOLTANI, S.; HAMMAMI, R.; COTTER, P. D.; REBUFFAT, S.; SAID, L. B.; GAUDREAU, H.; BÉDARD, F.; BIRON, E.; DRIDER, D.; FLISS, I. Bacteriocins as a new generation of antimicrobials: Toxicity aspects and regulations. **FEMS Microbiology Reviews**, v. 45, n. 1, p. 1–24, 2021.

SONG, D.; CHENG, Y.; LI, X.; WANG, F.; LU, Z.; XIAO, X.; WANG, Y. Biogenic Nanoselenium Particles Effectively Attenuate Oxidative Stress-Induced Intestinal Epithelial Barrier Injury by Activating the Nrf2 Antioxidant Pathway. **ACS Applied Materials and Interfaces**, v. 9, n. 17, p. 14724–14740, 2017.

VISERAS, C.; AGUZZI, C.; CERESO, P.; LOPEZ-GALINDO. Uses of clay minerals in semisolid health care and therapeutic products. **Applied Clay Science**, v. 36, n. 1–3, p. 37–50, 2007.

WALKER, G. M. *Pichia anomala*: Cell physiology and biotechnology relative to other yeasts. **Antonie van Leeuwenhoek, International Journal of General and Molecular Microbiology**, v. 99, n. 1, p. 25–34, 2011.

WEILER, F.; SCHMITT, M. J. Zygocin, a secreted antifungal toxin of the yeast *Zygosaccharomyces bailii*, and its effect on sensitive fungal cells. **FEMS Yeast Research**, v. 3, n. 1, p. 69–76, 2003.

YARKENT, Ç.; GÜRLEK, C.; ONCEL, S. S. Potential of microalgal compounds in trending natural cosmetics: A review. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, v. 17, n. February, 2020.

YU, H.; CHEN, Y.; SUN, M.; HAN, S. A novel nanohybrid antimicrobial based on chitosan nanoparticles and antimicrobial peptide microcin J25 with low toxicity. **Carbohydrate Polymers**, v. 253, p. 117309, 2021.

