PRODUTO DERMATOLÓGICO CONTENDO NANOPARTÍCULAS COM ÓLEO ESSENCIAL DE *MELALEUCA ALTERNIFOLIA:* DELINEAMENTO E ESTUDO DE ESTABILIDADE

Raissa Arnaut Eschiezaro e Isabela Rosier Olimpio Pereira

Apoio:PIVIC Mackenzie

RESUMO

O desenvolvimento de sistemas nanoestruturados para aplicação dermatológica tem se destacado como uma estratégia promissora para aumentar a estabilidade e a eficácia terapêutica de compostos naturais. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo desenvolver e avaliar um produto dermatológico contendo nanopartículas poliméricas incorporadas com óleo essencial de *Melaleuca alternifolia*, visando potencializar sua ação cicatrizante, antimicrobiana e anti-inflamatória. As nanopartículas foram previamente obtidas por polimerização em emulsão e posteriormente incorporadas a uma formulação de aplicação tópica, cuja composição foi otimizada para garantir compatibilidade, estabilidade e adequada aplicação cutânea. A estabilidade físico-química da formulação foi avaliada por meio de análises de características organolépticas, pH, viscosidade, densidade, centrifugação e espalhabilidade, sob diferentes condições de armazenamento, conforme recomendações da ANVISA. É esperado que a nanoencapsulação proteja os compostos bioativos contra degradação, favoreça a liberação controlada do óleo essencial e aumente sua permeação cutânea, contribuindo para maior estabilidade da formulação e melhor desempenho terapêutico. Dessa forma, o desenvolvimento desse produto poderá representar uma alternativa inovadora para aplicações dermatológicas, ampliando o potencial de utilização de ativos naturais em formulações tópicas.

Palavras-chave: *Melaleuca alternifolia*; nanotecnologia; nanopartículas poliméricas; produto dermatológico; estudo de estabilidade.

ABSTRACT

The development of nanostructured systems for dermatological application has emerged as a promising strategy to improve the stability and therapeutic efficacy of natural compounds. In this context, this study aimed to develop and evaluate a dermatological product containing polymeric nanoparticles incorporating *Melaleuca alternifolia* essential oil, with the purpose of enhancing its wound-healing, antimicrobial, and anti-inflammatory activities. The nanoparticles were previously obtained by emulsion polymerization and subsequently

incorporated into a topical formulation whose composition was optimized to ensure compatibility, stability, and suitable skin application. The physicochemical stability of the formulation was evaluated through analyses of organoleptic characteristics, pH, viscosity, density, centrifugation, and spreadability under different storage conditions, in accordance with Brazilian Health Regulatory Agency (ANVISA) recommendations. Nanoencapsulation is expected to protect the bioactive compounds against degradation, promote controlled release of the essential oil, and enhance its skin permeation, thereby contributing to greater formulation stability and improved therapeutic performance. Therefore, the development of this product may represent an innovative alternative for dermatological applications, expanding the potential use of natural active ingredients in topical formulations.

Keywords: *Melaleuca alternifolia*; nanotechnology; polymeric nanoparticles; dermatological product; stability study.

1. INTRODUÇÃO

As doenças de pele estão entre as condições de saúde mais comuns em todo o mundo e representam um desafio significativo para os sistemas de saúde devido à sua alta prevalência e ao impacto na qualidade de vida dos pacientes. Condições como acne, dermatites, psoríase, infecções cutâneas superficiais e feridas crônicas frequentemente exigem tratamentos prolongados. No entanto, as formulações tópicas convencionais muitas vezes apresentam desempenho terapêutico limitado, devido à baixa permeação cutânea, reduzida biodisponibilidade e instabilidade dos princípios ativos. Nesse contexto, o desenvolvimento de sistemas inovadores de liberação de fármacos tem se mostrado uma estratégia importante para aprimorar terapias tópicas (Williams, 2020; Chakraborty et al., 2024).

Os produtos naturais têm despertado cada vez mais interesse na pesquisa farmacêutica, em razão de sua ampla gama de atividades biológicas e perfil de segurança favorável. Entre eles, o óleo essencial extraído de *Melaleuca alternifolia* (*tea tree oil*) tem sido amplamente estudado por suas propriedades antimicrobianas, antifúngicas, anti-inflamatórias, antioxidantes e cicatrizantes. Essas atividades biológicas são atribuídas principalmente ao terpinen-4-ol, seu principal componente, que demonstra eficácia contra diversos microrganismos patogênicos e em condições inflamatórias da pele (Carson, Hammer & Riley, 2006).

Apesar do seu potencial terapêutico, a incorporação direta do óleo essencial de t*ea tree* em formulações tópicas apresenta algumas limitações. Trata-se de um composto altamente volátil e quimicamente instável, suscetível à oxidação e à degradação quando exposto ao oxigênio, à luz e ao calor. Essas características reduzem sua vida útil e comprometem a manutenção da atividade biológica, evidenciando a necessidade de tecnologias capazes de proteger seus componentes ativos durante o desenvolvimento e o armazenamento das formulações (Hammer, 2006; Chiriac, 2021).

Os avanços na nanotecnologia farmacêutica têm possibilitado alternativas inovadoras para melhorar a entrega de compostos bioativos através da pele. As nanopartículas poliméricas têm sido amplamente investigadas como sistemas carreadores, pois protegem os compostos encapsulados da degradação, aumentam a permeação cutânea, permitem liberação controlada e favorecem maior retenção local do fármaco. Além disso, esses sistemas nanoestruturados podem reduzir reações adversas cutâneas associadas ao uso direto de óleos essenciais, melhorando tanto a eficácia quanto a segurança (CEVC; BLUME, 2001; MENDES, 2021).

Estudos recentes demonstram que a nanoencapsulação de óleos essenciais em nanopartículas poliméricas melhora significativamente a estabilidade das formulações e potencializa suas atividades antimicrobianas, anti-inflamatórias e cicatrizantes quando comparadas às formulações convencionais. Esses nanocarreadores também proporcionam perfis de liberação sustentada e maior proteção dos compostos voláteis, o que os torna plataformas promissoras para o desenvolvimento de produtos dermatológicos inovadores (Buriti, 2024; Cortesi, 2024).

Além do desenvolvimento da formulação em si, os estudos de estabilidade representam uma etapa fundamental no desenvolvimento farmacêutico. Parâmetros físicoquímicos como pH, viscosidade, densidade, espalhabilidade, comportamento sob centrifugação e características organolépticas devem ser monitorados para garantir que o produto mantenha sua qualidade, segurança e eficácia ao longo de sua vida útil. Essas avaliações são recomendadas pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e são essenciais para assegurar a qualidade do produto antes de sua comercialização (Brasil, 2019).

Então, é esperado que a nanoencapsulação proteja o óleo essencial contra degradação, aumente sua estabilidade físico-química, melhore sua permeação cutânea e permita liberação controlada, contribuindo para o desenvolvimento de formulações tópicas mais seguras e eficazes no tratamento de doenças inflamatórias e infecciosas da pele.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Melaleuca alternifolia

O óleo essencial de melaleuca (*Melaleuca alternifolia), t*ambém conhecido como *tea tree oil*, é amplamente reconhecido por suas propriedades terapêuticas, especialmente devido às suas ações antimicrobianas, anti-inflamatórias e cicatrizantes (Figura 1). Essas características tornam-no um insumo promissor para o tratamento de diversas condições dermatológicas, como acne, psoríase e feridas cutâneas. O composto ativo predominante do óleo essencial de melaleuca, o terpinen-4-ol, é responsável por grande parte das suas propriedades farmacológicas. Estudos recentes têm demonstrado que o terpinen-4-ol auxilia na redução da inflamação local e na regeneração dos tecidos, promovendo uma recuperação mais rápida das lesões (Silva et al., 2022).

Figura 1: *Melaleuca alternifolia* (*tea tree)*.



Fonte: https://loja.herbarium.com.br/products/oleo-essencial-de-tea-tree-melaleuca-organico-herbarium-10ml?srsltid=AfmBOop5mWePjQfNJAJvM4-yD8BZeLhsxJ-dVf6beXB6MHx63u4INOGi

Além de suas propriedades antimicrobianas, o óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* possui propriedades cicatrizantes que contribuem para a regeneração da pele. O uso tópico de produtos que contém melaleuca pode acelerar o processo de cicatrização e melhorar a qualidade do tecido regenerado (Vieira et al., 2023). A combinação do óleo com sistemas nanoestruturados, como os etossomas, potencializa seu efeito cicatrizante, garantindo uma liberação controlada e direcionada para as áreas lesionadas, o que é especialmente útil no tratamento de feridas complexas (Santos et al., 2022).

2.2 Nanotecnologia Farmacêutica

A nanotecnologia farmacêutica tem desempenhado um papel fundamental no aprimoramento da eficácia e estabilidade de compostos bioativos, como o óleo essencial de *Melaleuca alternifólia*, em produtos dermatológicos. Entre as estratégias mais promissoras estão as nanopartículas poliméricas, que permitem uma liberação controlada e direcionada do princípio ativo. As nanopartículas poliméricas, constituídas por polímeros biocompatíveis e

biodegradáveis, oferecem uma matriz estável para encapsular compostos sensíveis, protegendo-os da degradação e aumentando sua biodisponibilidade. Além disso, essas nanopartículas possibilitam uma liberação controlada e prolongada do princípio ativo, característica vantajosa em tratamentos que demandam ação localizada e contínua. Essa técnica permite direcionar o fármaco de forma mais precisa, ajudando a diminuir os efeitos adversos e melhorando a eficácia terapêutica.

Essas tecnologias mostram-se particularmente relevantes para o tratamento de problemas de pele e cicatrização de feridas, onde a liberação gradual e localizada do óleo essencial pode promover a regeneração tecidual, controlar infecções e reduzir inflamações. Estudos recentes indicam que sistemas baseados em nanopartículas têm o potencial de

acelerar o fechamento de feridas e melhorar a qualidade da cicatrização, reduzindo o risco de formação de cicatrizes (Oliveira et al., 2023).

3. METODOLOGIA

A síntese de nanopartículas poliméricas é variada, no entanto a sua obtenção pode ser dividida em duas categorias: uma através de reações de polimerização de monômeros ou em outra categoria, ou seja, através de polímeros, sintéticos ou naturais, pré-formados. O método utilizado será polimerização em emulsão e acontecerá de acordo com o Projeto de Iniciação Científica 2024-2025 intitulado “Nanopartículas poliméricas contendo óleo essencial de folhas e ramos de *Melaleuca alternifolia* para potenciais empregos cicatrizante e antisséptico: Desenvolvimento, síntese e caracterização físico-química e morfológica” (ARIAS et al,2006; GUIMARÃES, 2015).

3.1 Preparação das Nanopartículas Poliméricas

As nanopartículas poliméricas contendo óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* foram obtidas pelo método de polimerização em emulsão. Inicialmente, 10 mL de uma solução de ácido clorídrico (HCl) 0,1 M contendo 100 mg de Dextran® foram transferidos para um erlenmeyer e mantidos sob agitação magnética contínua. Em seguida, foram adicionados, gota a gota, 100 µL do monômero *n*-butil cianoacrilato (BCA, Histoacryl®) utilizando uma micropipeta, promovendo a formação das nanopartículas. O sistema permanecerá sob agitação constante durante 1 hora para permitir o início do processo de polimerização (WAKAMATSU; GUIMARÃES, 2024).

Após esse período inicial, foi retirado 1 mL da suspensão polimérica e adicionado 1 mL de óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* ao meio reacional. A dispersão permaneceu sob agitação magnética por mais 3 horas, totalizando 4 horas de polimerização. Essa etapa tem como objetivo favorecer a incorporação do óleo essencial à matriz polimérica, contribuindo para sua proteção contra processos de degradação e volatilização (WAKAMATSU; GUIMARÃES, 2024).

Ao término da reação, a suspensão nanoparticulada foi neutralizada com solução de hidróxido de sódio (NaOH) 1 M, interrompendo o processo de polimerização. Em seguida, a dispersão foi filtrada em papel de filtro para remover agregados não polimerizados e resíduos remanescentes da reação, obtendo-se uma suspensão homogênea de nanopartículas poliméricas incorporadas com óleo essencial de *Melaleuca alternifolia*, que posteriormente

será utilizada para caracterização físico-química e incorporação na formulação dermatológica (WAKAMATSU; GUIMARÃES, 2024).

3.2 Desenvolvimento da Emulsão Dermatológica

Foi desenvolvida uma emulsão dermatológica óleo em água (O/A) utilizando o método Continental e composta pelos seguintes componentes, de acordo com o Quadro 1:

Quadro 1: Formulação desenvolvida

COMPONENTES	**COMPOSIÇÃO (%)**	**FUNÇÃO**
Polawax®	15,0	Emulsificante
Cetiol V®	5,0	Emoliente
Miristrato de isopropila	2,0	Emoliente
BHT (Butil didroxi-anisol)	0,02	Antioxidante
Fenoxietanol	0,08	Conservante
Glicerina	5,0	Umectante
EDTA dissódico	0,05	Agente quelante
Água purificada	q.s.p 100	Veículo/ solvente

Fonte: Autores (2026).

Inicialmente, a fase oleosa e os agentes emulsificantes foram aquecidos conjuntamente até aproximadamente 70°C. Simultaneamente, a fase aquosa foi aquecida à mesma faixa de temperatura. Depois, a fase aquosa foi adicionada à fase oleosa sob agitação, promovendo a formação de uma pré-emulsão óleo em água. A agitação foi mantida até o resfriamento parcial do sistema. Quando a temperatura atingiu aproximadamente 40°C, as nanopartículas poliméricas contendo óleo essencial de Melaleuca foram incorporadas sob homogeneização suave, garantindo sua dispersão uniforme por toda a formulação.

3.3 Estudo de Estabilidade Acelerada

Após o desenvolvimento da formulação dermatológica contendo nanopartículas poliméricas incorporadas com óleo essencial de *Melaleuca alternifolia*, amostras do produto foram acondicionadas em diferentes condições de armazenamento para avaliação de sua estabilidade acelerada. As formulações foram mantidas sob incidência de luz, protegidas da luz à temperatura ambiente, em estufa e sob refrigeração, permitindo a análise da influência dessas condições sobre a estabilidade do produto.

As avaliações foram realizadas nos tempos 0 (D0), 7 (D7), 14 (D14), 21 (D21), 28 (D28), 42 (D42), 56 (D56), 70 (D70), 84 (D84) e 98 (D98) dias após a preparação da formulação. Durante o período experimental, foram monitorados parâmetros físico-químicos e organolépticos, incluindo aspecto, cor, odor, pH, densidade, espalhabilidade, espalmabilidade e formação de picos (Amount of Peaking)

3.3.1. Análise Organolépticas e do Aspecto

A análise das características organolépticas e do aspecto das amostras de creme foi realizada predominantemente por avaliação visual, com o objetivo de identificar possíveis alterações físicas ao longo do período de estudo. Foram avaliados parâmetros como cor, homogeneidade, brilho, uniformidade da superfície e aspecto geral, bem como a presença de possíveis sinais de instabilidade, incluindo separação de fases, formação de grumos, precipitados, exsudação, sinérese ou outras alterações visíveis.

Durante as análises, também foi verificada a manutenção do aspecto característico da emulsão e sua uniformidade ao longo do período de armazenamento. Os resultados foram registrados de forma qualitativa, considerando-se a ausência ou presença de alterações perceptíveis em relação à condição inicial. A avaliação foi realizada nas amostras mantidas sob as diferentes condições de armazenamento estabelecidas no estudo de estabilidade: ambiente com incidência de luz, ambiente sem incidência de luz, geladeira e estufa ao longo do estudo e comparadas com aquelas observadas no dia da preparação da formulação (D0).

3.3.2. Análise de pH

Os valores de pH das formulações foram determinados utilizando um pHmetro digital previamente calibrado (Digimed DM-22®, Brasil). Antes da análise, as amostras foram diluídas em água purificada na proporção de 1:9, de modo a permitir a adequada imersão do eletrodo e a obtenção de leitura homogênea.

Após o preparo, as dispersões foram homogeneizadas cuidadosamente e mantidas em repouso por curto período antes da medição. O eletrodo do equipamento foi então imerso na amostra, evitando contato com as paredes e o fundo do recipiente, e a leitura foi registrada após estabilização do valor indicado pelo equipamento. Entre as determinações, o eletrodo foi lavado com água purificada e seco suavemente com papel absorvente.

3.3.3. Análise da Densidade

A densidade da formulação foi determinada utilizando-se um picnômetro metálico, previamente limpo e seco. Inicialmente, realizou-se a pesagem do picnômetro vazio. Em seguida, o recipiente foi preenchido com água purificada e novamente pesado, permitindo a determinação de seu volume. Posteriormente, o picnômetro foi completamente preenchido com a amostra, evitando-se a formação de bolhas de ar, e submetido a nova pesagem. Todas as determinações foram realizadas em balança analítica (Shimadzu ATY224®, Japão).

A densidade foi calculada a partir da relação entre a massa da amostra e o volume do picnômetro, conforme a equação:

$$Densidade\ (g/mL) = Massa\ da\ amostra\ /\ Volume\ do\ picnômetro$$

3.3.4. Análise da Espalhabilidade

A análise foi realizada empregando papel quadriculado posicionado sob uma placa de vidro transparente para fornecer uma referência para medir o diâmetro da formulação após a expansão. Uma quantidade fixa de creme era colocada no centro da placa de vidro, correspondente ao ponto de referência marcado no papel quadriculado. Posteriormente, três placas de vidro adicionais foram cuidadosamente colocadas umas sobre as outras sobre a amostra, aplicando uma pressão gradual e uniforme que promoveu a dispersão da formulação. Após a estabilização, o diâmetro alcançado pelo creme foi medido e registrado. O teste de espalhabilidade foi realizado durante o estudo de estabilidade sob quatro condições diferentes de armazenamento: ambiente sem incidência de luz, ambiente com incidência de luz, geladeira e em um forno.

3.3.5. Análise de Espalmabilidade

O teste de espalmabilidade foi realizado com o objetivo de avaliar qualitativamente a resistência apresentada pelas formulações durante sua movimentação e distribuição entre superfícies. Uma quantidade fixa do creme foi colocada entre duas lâminas de vidro,

mantendo-se a quantidade de amostra em todas as determinações. Posteriormente, foram realizados movimentos circulares padronizados, utilizando-se o dedo indicador da mão direita para promover o deslocamento da lâmina superior, enquanto a palma da mão esquerda foi utilizada como apoio das placas, de forma a manter um padrão uniforme de movimentos durante a análise. Ao longo da execução dos movimentos circulares, foi observada a resistência oferecida pela formulação ao deslocamento das lâminas, permitindo classificá-la de acordo com a maior ou menor resistência percebida durante o procedimento. O teste de espalmabilidade foi realizado durante o estudo de estabilidade das formulações mantidas sob quatro diferentes condições de armazenamento: ambiente sem incidência de luz, ambiente com incidência de luz, geladeira e estufa.

3.3.6. Análise da *Amount of Peaking*

Para a realização do ensaio, aproximadamente 0,5 a 1,0 g da formulação foi retirada com auxílio de espátula limpa e posicionada entre as polpas dos dedos polegar e indicador da mão dominante. Em seguida, a amostra foi submetida a três compressões consecutivas, procurando-se manter pressão e movimentos padronizados durante todas as determinações. Após a terceira compressão, os dedos foram afastados lentamente, observando-se visualmente a formação e as características dos picos produzidos pela formulação. A intensidade da formação dos picos foi avaliada comparativamente entre as amostras, considerando-se sua maior ou menor capacidade de manter a estrutura após a separação dos dedos.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

Avaliar a estabilidade de uma formulação tópica é uma etapa essencial durante o desenvolvimento do produto, pois ajuda a determinar se a formulação consegue manter sua qualidade, segurança e desempenho durante todo o armazenamento. O monitoramento das propriedades físico-químicas sob diferentes condições ambientais possibilita detectar mudanças que podem ocorrer ao longo do tempo e fornece informações valiosas sobre a estabilidade geral da formulação. Essas descobertas também são importantes para prever a vida útil do produto e confirmar a adequação da formulação para futuras aplicações farmacêuticas.

Neste estudo, a estabilidade do creme contendo nanopartículas poliméricas de PBCA foi avaliada ao longo de 98 dias sob quatro condições de armazenamento: proteção à temperatura ambiente da luz, temperatura ambiente exposta à luz, armazenamento

refrigerado (5 ± 3°C) e armazenamento acelerado em estufa (40 ± 2°C). Ao longo do estudo, a formulação foi periodicamente avaliada quanto à sua aparência, pH, densidade e espalhabilidade. Os resultados obtidos em cada análise são apresentados nas seções seguintes e discutidos de acordo com o comportamento da formulação sob as diferentes condições de armazenamento.

4.1 Análise das Características Organolépticas

As características organolépticas das formulações foram avaliadas no início do estudo, no dia zero (D0), e acompanhadas ao longo do período experimental. Foram observados os seguintes parâmetros macroscópicos: aparência, cor e odor. Os resultados obtidos no D0 estão apresentados na Tabela 1, sendo que a Tabela 2 apresenta os resultados das amostras ao longo dos 98 dias em cada condição (em ambiente sem luz, ambiente com luz, na estufa e geladeira) e os registros fotográficos das formulações são apresentados na Figura 2.

Tabela 1: Resultados das análises de características organolépticas e aspecto no D0.

ANÁLISE	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	AMOSTRA 4
Aparência	Brilhante e cremoso	Brilhante e cremoso	Brilhante e cremoso	Brilhante e cremoso
Cor	branco	branco	branco	branco
Odor	neutro	neutro	neutro	neutro

Fonte: Autores (2026).

Legenda: Todas as amostras correspondem a emulsões contendo nanopartículas de *Melaleuca alternifólia*.

Tabela 2: Testes das características organolépticas

AMOSTRA/CONDIÇÃO	7	14	28	42	56	70	84	98
AMOSTRA 1	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA
AMOSTRA 2	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA
AMOSTRA 3	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA
AMOSTRA 4	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA

Legenda: Amostra 1 – armazenada em *ambiente sem luz*; Amostra 2 – armazenada em ambiente *com luz*; Amostra 3 – armazenada *na estufa;* Amostra 4 – armazenada *na geladeira*.; SA: ausência de alterações perceptíveis nas características organolépticas em relação à condição inicial.

Fonte: Autores (2026)

A análise organoléptica de 7 (D7), 14 (D14), 28 (D28), 42 (D42), 56 (D56), 70 (D70), 84 (D84) e 98 (D98) mostrou conformidade com o parâmetro definido no dia do manuseio. Aparentemente não houve mudança na cor de nenhuma das amostras, mostrando que elas permaneceram estáveis em termos desse parâmetro em todas as condições. Na análise de odor, foi perceptível que as amostras submetidas a estufa e ambiente com incidência de luz tinham um odor mais forte que os outros. O odor é semelhante a Melaleuca. Na análise de aparência, foi notável que as amostras submetidas à geladeira (Amostra 3) e a estufa (Amostra 4) apresentaram-se aparentemente opacas, enquanto as outras amostras (Amostras 1 e 2) mantinham sua aparência brilhante e cremosa (Figura 2)

Figura 2: Amostra de emulsão cremosa e brilhante à direita (Amostra 1) e emulsão opaca à esquerda (amostra 3).



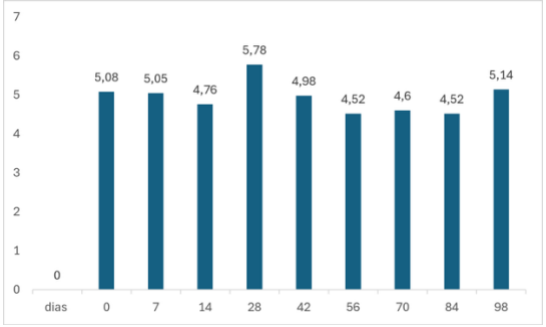
Fonte: Autores (2026).

.

4.2 Análise de pH

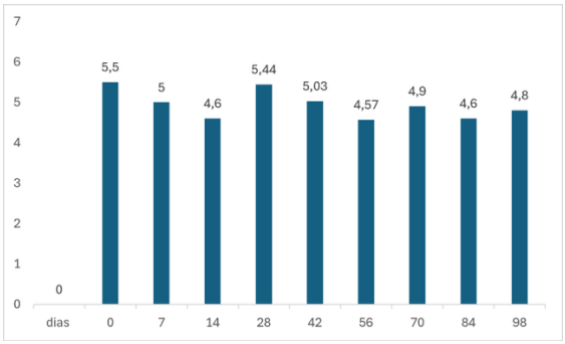
O pH das formulações foi determinado no dia zero (D0) e acompanhado durante o estudo de estabilidade acelerada, sob diferentes condições de armazenamento. Dessa forma, sabe-se que a pele humana é naturalmente coberta por uma superfície levemente ácida, apresentando frequentemente valores de pH entre 4,5 e 5,5, o que contribui para a manutenção da barreira cutânea e ajuda a preservar o equilíbrio da microbiota cutânea. No dia 0 (D0), a formulação apresentou pH próximo a 5,0, demonstrando compatibilidade com as condições fisiológicas da pele saudável. Durante toda a avaliação de estabilidade, variações no pH foram observadas em diferentes momentos de armazenamento, os valores permaneceram dentro de uma faixa adequada para formulações dermatológicas, indicando que nenhuma mudança significativa ocorreu que pudesse comprometer o desempenho, a estabilidade ou a segurança do produto para aplicação tópica. Os Gráficos 1 a 4 demonstram os resultados e mudanças alcançados durante os testes.

Gráfico 1: Valores de pH obtidos referentes à amostra 1 e submetida ao ambiente sem incidência de luz ao longo do estudo.



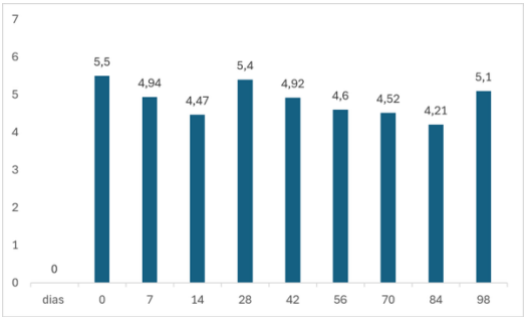
Fonte: Autores (2026)

Gráfico 2: Valores de pH obtidos referentes à amostra 2 e submetida ao ambiente com incidência de luz ao longo do estudo.



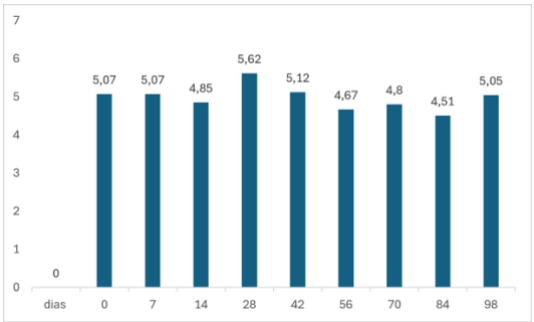
Fonte: Autores (2026).

Gráfico 3: Valores de pH obtidos referentes à amostra 3 e submetida à estufa ao longo do estudo.



Fonte: os autores.

Gráfico 4: Valores de pH obtidos referentes à amostra 4 e submetida à geladeira



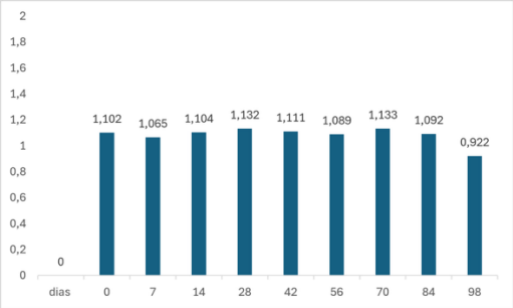
Fonte: os autores.

Durante o estudo de estabilidade, os valores de pH permaneceram relativamente constantes durante todo o período de avaliação, indicando que a formulação preservou suas características fisicoquímicas ao longo do tempo. Embora pequenas variações tenham sido observadas entre os dias de amostragem, essas mudanças foram pequenas e não sugeriram instabilidade na formulação. Um comportamento semelhante foi observado em todas as condições de armazenamento, com os valores de pH mais altos registrados no dia 28 e os mais baixos no dia 84.

4.3 Análise da Densidade

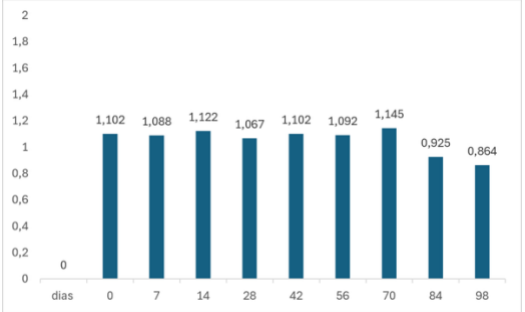
Os testes de densidade mostraram que as amostras permaneceram dentro dos valores de acordo com as especificações de produtos semelhantes. Os Gráficos 5 a 8 mostram os resultados obtidos em cada amostra.

Gráfico 5: Valores de densidade obtidos referentes à amostra 1 e submetida ao ambiente sem incidência de luz ao longo do estudo.



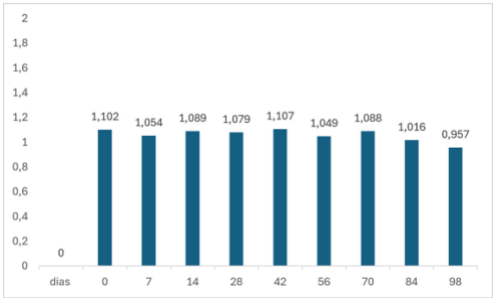
Fonte: Autores (2026)

Gráfico 6: Valores de pH obtidos referentes à amostra 2 e submetida ao ambiente com incidência de luz ao longo do estudo.



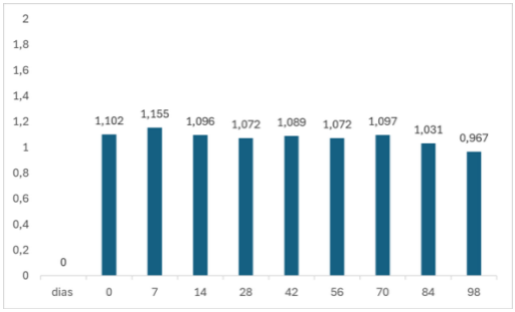
Fonte: Autores (2026).

Gráfico 7: Valores de pH obtidos referentes à amostra 3 e submetida à estufa ao longo do estudo.



Fonte: Autores (2026).

Gráfico 8: Valores de pH obtidos referentes à amostra 4 e submetida à geladeira



Fonte: Autores (2026).

Os resultados demonstraram que todas as amostras permaneceram geralmente estáveis durante todo o período do estudo. No entanto, foi observada uma leve diminuição nos valores no penúltimo e último dia em comparação com as avaliações anteriores.

4.4 Análise da Espalhabilidade

O teste de espalhabilidade foi realizado durante o estudo de estabilidade, considerando quatro condições de armazenamento: ambiente sem incidência de luz, ambiente com incidência de luz, geladeira e estufa. A comparação dos resultados obtidos ao longo do período de avaliação indicou que as amostras não apresentaram diferenças aparentemente significativas entre si ou alterações relevantes em relação às respectivas condições de armazenamento. Esse parâmetro permitiu acompanhar o comportamento físico da formulação e verificar a manutenção de características adequadas para sua aplicação tópica durante o período analisado.

4.5 Análise de Espalmabilidade

Durante as avaliações, a emulsão apresentou boa distribuição sobre a superfície, espalhando-se de maneira uniforme e sem formar regiões excessivamente concentradas. A aplicação ocorreu de forma contínua, sem apresentar resistência significativa ao espalhamento. Além disso, o comportamento observado permaneceu semelhante durante todo o período de acompanhamento.

4.6 Análise da *Amount of Peaking*

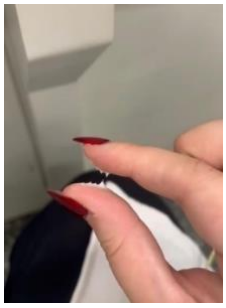
Durante todo o período avaliado, a emulsão apresentou comportamento estável, sem alterações perceptíveis de textura, homogeneidade ou consistência, mantendo características semelhantes às observadas no início do estudo. Também não foram evidenciados sinais de separação de fases ou modificações relevantes em suas propriedades físicas. Os resultados obtidos estão apresentados nas Figuras 3 a 6, que demonstram o comportamento da emulsão durante o teste.

Figura 3: Amostra 1 - Formulação submetida à temperatura ambiente sem incidência de luz.



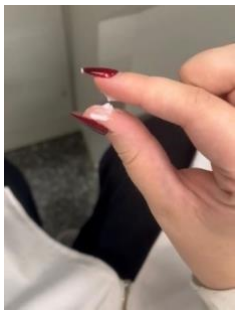
Fonte: Autores (2026)

Figura 4: Amostra 2 - Formulação submetida à temperatura ambiente em ambiente com incidência de luz.



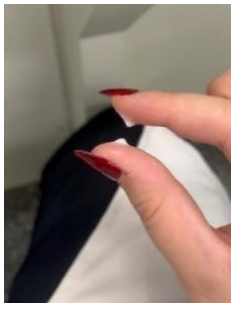
Fonte: Autores (2026)

Figura 5: Amostra 3 - Formulação submetida à estufa.



Fonte: Autores (2026).

Figura 6: Amostra 4 - Formulação submetida à geladeira.



Fonte: Autores (2026).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento da formulação dermatológica contendo nanopartículas poliméricas incorporadas com óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* mostrou-se uma proposta relevante, especialmente diante das limitações apresentadas pelo uso direto desse ativo natural, como sua volatilidade e sensibilidade às condições ambientais. A associação entre o óleo essencial e a nanotecnologia representa uma possibilidade promissora para a elaboração de formulações tópicas, buscando preservar as características do ativo e favorecer sua utilização em produtos destinados à aplicação dermatológica.

Durante os 98 dias de acompanhamento, a formulação foi submetida a diferentes condições de armazenamento, permitindo avaliar sua estabilidade ao longo do período. De modo geral, a emulsão manteve a coloração branca, a homogeneidade e suas características iniciais, sem alterações significativas que comprometessem sua estabilidade, sendo observadas apenas pequenas mudanças no odor e no aspecto nas condições de luz e estufa. No início dos testes, no D0, o pH foi de 5,0, ao longo dos dias apresentou pequenas oscilações, mas permaneceu adequado para aplicação tópica, enquanto a densidade se manteve relativamente constante, com uma pequena redução nas últimas avaliações. A espalhabilidade e a espalmabilidade permaneceram satisfatórias, e o teste de *amount of peaking* confirmou a manutenção da consistência, coesividade e estrutura da emulsão durante o período avaliado.

Dessa forma, a utilização da nanotecnologia pode contribuir para a proteção e a veiculação do ativo, o que faz minimizar algumas limitações relacionadas ao seu uso na forma livre. Assim, o estudo reforça a relevância da associação entre ativos naturais e sistemas de liberação nanoestruturados, podendo servir como base para futuras pesquisas voltadas à avaliação da eficácia, segurança e otimização de formulações destinadas às aplicações farmacêuticas e cosméticas.

6. REFERÊNCIAS

ARIAS, J. L.; GALLARDO, V.; LINARES-MOLINERO, F.; DELGADO, A. V. Preparation and characterization of carbonyl iron/poly(butylcyanoacrylate) core/shell nanoparticles. *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 299, n. 2, p. 599-607, 2006. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jcis.2006.03.005.

BURITI, F. C. A. et al. Essential oils in polymeric wound dressings: recent advances. *PubMed*, 2024. Disponível em: . Acesso em: 23 jun. 2026.

CARSON, C. F.; HAMMER, K. A.; RILEY, T. V. Melaleuca alternifolia (Tea Tree) oil:a review of antimicrobial and other medicinal properties. *Clinical Microbiology Reviews*, v. 19, n. 1, p. 50-62, 2006. DOI: https://doi.org/10.1128/CMR.19.1.50-62.2006.

CHAKRABORTY, S. et al. Advancements in nanoparticles for skin care. *Discover Nano*, 2024. DOI: 10.1007/s43939-024-00088-4.

CHIRIAC, A. P. et al. Polymeric carriers designed for encapsulation of essential oils with biological activity. *Pharmaceutics*, v. 13, n. 5, art. 631, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13050631.

CORTESI, R. et al. Nanotechnology strategies for wound healing. *PubMed*, 2024. Disponível em: . Acesso em: 23 jun. 2026.

MENDES, A. R. et al. Advances in polymeric nanoparticles for essential oil delivery in dermatological formulations. *Drug Delivery and Translational Research*, 2021.

OLIVEIRA, R. T.; SANTOS, M. E. Aplicações dermatológicas do óleo essencial de melaleuca: uma revisão sistemática. *International Journal of Phytotherapy*, v. 10, p. 23–40, 2022.

SILVA, M. R. et al. Propriedades antimicrobianas e cicatrizantes do óleo essencial de melaleuca: uma revisão. *Revista Brasileira de Dermatologia*, 2022.

VIEIRA, I. R. S. et al. Enhancing the antioxidant, antibacterial, and wound healing effects of *Melaleuca alternifolia* oil by microencapsulating it in chitosan-sodium alginate microspheres. Nutrients, v. 15, n. 6, p. 1319, 2023. DOI: 10.3390/nu15061319.

WAKAMATSU, Anna Yumi; GUIMARÃES, Marcelo. Nanopartículas poliméricas contendo extrato etanólico de própolis para a aplicação como drug delivery system: desenvolvimento e caracterização físico-química e morfológica. In: **JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA**, 20., 2024, São Paulo. *São Paulo: Universidade Presbiteriana Mackenzie*, 2024.

WILLIAMS, A. C. *Transdermal and topical drug delivery*. London: Pharmaceutical Press, 2020.

Contatos: raissa.arnautes@gmail.com e isabela.pereira@mackenzie.br