

INOVAÇÃO EM COSMÉTICOS ANTIMICROBIANOS SUSTENTÁVEIS: DESENVOLVIMENTO DE SABONETE LÍQUIDO À BASE DE ÓLEOS ESSENCIAIS

Autores

Ana Carolina Guedes Gomes¹

Geisa Clara Barbosa Rodrigues França²

Julia Zeraik Sampaio Curvelo³

Bruno Guedes Fonseca⁴

Resumo

A crescente resistência de microrganismos a agentes antimicrobianos sintéticos e a busca por alternativas sustentáveis impulsionam o desenvolvimento de tecnologias inovadoras em produtos de higiene pessoal. Este estudo apresenta o desenvolvimento e a avaliação de sabonetes líquidos formulados com óleos essenciais de copaíba, lavanda e melaleuca, visando uma abordagem cosmética antimicrobiana segura, eficaz e ecologicamente responsável. Foram elaboradas quatro formulações e testadas frente à cepa *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, utilizando o método de difusão em ágar. Os resultados revelaram halos de inibição expressivos, com destaque para a formulação contendo óleo essencial de copaíba. Todas as formulações apresentaram pH adequado para uso tópico (6,8–7,2) e características organolépticas aceitáveis. Os resultados reforçam o potencial tecnológico e social das formulações como alternativas sustentáveis aos produtos convencionais, com possíveis aplicações em ambientes clínicos, escolares e domiciliares. A proposta contribui para o desenvolvimento de cosméticos funcionais alinhados aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente nos eixos saúde, inovação e consumo responsável.

Palavras-chave: Agentes anti-infecciosos. *Staphylococcus aureus*. Desenvolvimento sustentável. Produtos de higiene pessoal. Testes de sensibilidade microbiana.

INNOVATION IN SUSTAINABLE ANTIMICROBIAL COSMETICS: DEVELOPMENT OF LIQUID SOAP BASED ON ESSENTIAL OILS

Abstract

*The escalating resistance of microorganisms to synthetic antimicrobial agents, alongside the global demand for sustainable solutions, has driven innovation in personal care formulations. This study reports the development and evaluation of liquid soaps enriched with essential oils from copaiba, lavender, and tea tree (*Melaleuca alternifolia*), aiming to provide a safe, effective, and environmentally*

¹ Graduação em Farmácia pelo Centro Universitário Teresa D'Ávila – Unifatea. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3405-0861>

² Graduação em Farmácia pelo Centro Universitário Teresa D'Ávila – Unifatea. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-7264-3894>

³ Graduação em Farmácia pelo Centro Universitário Teresa D'Ávila – Unifatea. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-3891-8896>

⁴ Doutorado em Ciências - Biotecnologia Industrial pela Escola de Engenharia de Lorena - Universidade de São Paulo - EEL/USP, docente no Programa de Mestrado Profissional em Design, Tecnologia e Inovação pelo Centro Universitário Teresa D'Ávila – Unifatea e Coordenador do Curso de Farmácia pelo Unifatea. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4382-2250>

friendly antimicrobial cosmetic option. Four distinct formulations were prepared and tested against the *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 strain using the agar diffusion method. The results demonstrated significant zones of bacterial growth inhibition, with the copaiba oil-based formulation showing the most pronounced effect. All formulations exhibited pH values suitable for topical application (6.8–7.2) and acceptable organoleptic characteristics. These findings highlight the technological and social potential of essential oil-based formulations as sustainable alternatives to conventional hygiene products, with possible applications in clinical, educational, and household settings. This initiative aligns with the Sustainable Development Goals (SDGs), particularly those addressing health promotion, technological innovation, and responsible consumption.

Keywords: Anti-infective agents. *Staphylococcus aureus*. Sustainable development. Personal hygiene products. Microbial sensitivity tests.

INTRODUÇÃO

O uso de insumos naturais derivados de plantas medicinais tem ganhado destaque em diversas áreas das ciências farmacêuticas, especialmente diante dos crescentes relatos de resistência microbiana a antimicrobianos sintéticos (Wińska *et al.*, 2019; Michalak, 2023). Produtos formulados com extratos vegetais e óleos essenciais destacam-se por sua composição rica em compostos bioativos, como terpenos, sesquiterpenos e fenóis, capazes de promover ações antimicrobiana, anti-inflamatória, cicatrizante e antioxidante (Wińska *et al.*, 2019). Tais ativos, aliados à biodegradabilidade e à baixa toxicidade quando bem formulados, tornam-se promissores na busca por alternativas seguras e eficazes em cuidados tópicos, principalmente na prevenção e tratamento de infecções cutâneas (Michalak, 2023).

O *Staphylococcus aureus* é uma bactéria Gram-positiva frequentemente associada a infecções de pele, mucosas e feridas (Elghali *et al.*, 2024). Sua capacidade de formar biofilmes e de adquirir resistência antimicrobiana, muitas vezes observada nas cepas resistentes à metilina (MRSA), torna seu controle um desafio clínico significativo (Elghali *et al.*, 2024; Bouguenoun *et al.*, 2023). Essa problemática tem impulsionado pesquisas por formulações tópicas com ação antimicrobiana baseada em compostos bioativos vegetais (Bouguenoun *et al.*, 2023).

Entre os compostos bioativos mais promissores estão os óleos essenciais de copaíba, melaleuca e lavanda, amplamente estudados por suas atividades bactericidas e perfil de segurança dermocosmética. O óleo de copaíba (*Copaifera* spp.), tradicionalmente empregado na medicina popular da região amazônica, tem seu potencial antimicrobiano amplamente atribuído ao β -cariofileno, um sesquiterpeno que interage com a membrana bacteriana, causando ruptura da integridade estrutural e perda de íons e moléculas essenciais (Arruda *et*

al., 2019). Santos *et al.* (2008) avaliou a atividade antimicrobiana de óleos essenciais obtidos de diferentes espécies do gênero *Copaifera*, utilizando o método de difusão em ágar contra diversas bactérias Gram-positivas, incluindo *S. aureus*. Os resultados demonstraram halos de inibição significativamente maiores em comparação com controles, indicando potencial atividade bactericida. De acordo com os autores, a eficácia variou conforme a composição química dos óleos, especialmente em relação a concentração de sesquiterpenos como, por exemplo, o β -cariofileno e o α -humuleno. Tais compostos são reconhecidos por seus mecanismos de ação que envolvem o comprometimento da membrana celular bacteriana e a interferência em processos metabólicos essenciais. A importância desses resultados destaca o óleo essencial de Copaíba como um agente antimicrobiano natural de grande potencial para aplicações terapêuticas e cosméticas, especialmente frente à crescente resistência bacteriana observada em ambientes clínicos (Santos *et al.*, 2008; Wińska *et al.*, 2019; Michalak, 2023; Elghali *et al.*, 2024).

O óleo essencial de melaleuca (*Melaleuca alternifolia*), popularmente conhecido como Tea Tree, apresenta o terpinen-4-ol como seu principal componente. Este monoterpene desestabiliza a membrana citoplasmática bacteriana, aumentando sua permeabilidade e causando a perda de gradientes iônicos, além de inibir a respiração celular e a síntese de ATP (Falci *et al.*, 2015; Wińska *et al.*, 2019; Michalak, 2023). Sua eficácia contra cepas multirresistentes de *S. aureus*, incluindo MRSA, tem sido confirmada em estudos in vitro (Falci *et al.*, 2015; Wińska *et al.*, 2019; 2. Michalak, 2023; 3. Elghali *et al.*, 2024). De acordo com Falci *et al.* (2015), o óleo essencial de melaleuca mostrou-se eficaz contra cepas multirresistentes de *S. aureus*, incluindo aquelas resistentes à metilicina (MRSA). Os autores observaram halos de inibição com valores elevados, o que reforça o potencial desse óleo como agente antimicrobiano em formulações dermatológicas voltadas à prevenção e tratamento de infecções cutâneas causadas por patógenos resistentes.

O óleo essencial de lavanda (*Lavandula angustifolia*) também apresenta atividade antimicrobiana significativa contra cepas de *S. aureus* resistentes à metilicina (MRSA), com concentrações inibitórias mínimas (CIM) variando entre 0,25% e 1% v.v⁻¹ em estudos in vitro (Wińska *et al.*, 2019; Michalak, 2023; Truong; Mudgil, 2023). Seu principal componente, o linalol, atua inibindo enzimas essenciais para o metabolismo bacteriano, como a ATPase, e interferindo na síntese de peptidoglicano, componente crucial da parede celular. Já o acetato de linalila, outro composto majoritário, contribui para a desestabilização da membrana e inibição da formação de biofilmes. Além de sua eficácia antimicrobiana, esse óleo também

possui um perfil toxicológico favorável e boa tolerabilidade cutânea, o que favorece sua aplicação em formulações tópicas destinadas ao manejo de infecções causadas por patógenos multirresistentes (Wińska *et al.*, 2019; Michalak, 2023; Truong; Mudgil, 2023; Elghali *et al.*, 2024).

Apesar das evidências sobre os efeitos antimicrobianos desses óleos essenciais, ainda são poucos os estudos que avaliam sua eficácia microbiológica quando incorporados em formulações cosméticas completas, como, por exemplo, sabonetes líquidos (Silva-Flores *et al.*, 2023). Além da eficácia microbiológica, a aceitação sensorial das formulações tem se destacado como um critério decisivo no desenvolvimento de produtos cosméticos, especialmente aqueles de uso tópico contínuo, sobretudo quando destinadas a peles sensíveis, que requerem formulações bem toleradas e não irritantes (Guzmán; Lucia, 2021).

No presente estudo, a concentração de 0,5% v.v⁻¹ para cada óleo essencial foi selecionada com base em estudos prévios que reportaram concentrações mínimas inibitórias (CMI) eficazes contra *S. aureus* (Santos *et al.*, 2008; Falci *et al.*, 2015; Truong; Mudgil, 2023). Por exemplo, Santos *et al.* (2008) encontraram para o óleo de copaíba uma CMI de 0,3% v.v⁻¹, enquanto Truong e Mudgil (2023) indicaram CMI entre 0,25% e 1% v.v⁻¹ para o óleo de lavanda, e Falci *et al.* (2015) reportaram CMI de 0,5% v.v⁻¹ para o óleo de melaleuca. Assim, a concentração de 0,5% v.v⁻¹ foi considerada adequada para garantir a eficácia antimicrobiana nas formulações desenvolvidas.

Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo formular e avaliar sabonetes líquidos contendo os óleos essenciais de copaíba, lavanda e melaleuca, por meio de análises organolépticas e ensaios microbiológicos frente à cepa *Staphylococcus aureus* ATCC 25923. A proposta visa verificar a eficácia in vitro dessas formulações e discutir seu potencial como alternativa natural, segura e sustentável aos antimicrobianos sintéticos amplamente utilizados em produtos de higiene pessoal e cuidados com a pele

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Aspectos éticos

Por se tratar de um estudo experimental in vitro com microrganismos, não foi necessária a submissão ao Comitê de Ética em Pesquisa, conforme diretrizes nacionais para pesquisas laboratoriais sem envolvimento humano ou animal.

2.2 Desenho experimental, local e período

Trata-se de um estudo experimental in vitro, realizado nos Laboratórios de Farmacotécnica e Microbiologia do Centro Universitário Teresa D'Ávila (UNIFATEA), entre janeiro e junho de 2022. As variáveis independentes foram as formulações do sabonete líquido: SA: contendo 0,5% v.v⁻¹ de cada óleo essencial (total 1,5% v.v⁻¹); SB: contendo apenas 0,5% v.v⁻¹ de óleo de copaíba; SC: contendo 0,5% v.v⁻¹ de óleo de lavanda; SD: contendo 0,5% v.v⁻¹ de óleo de melaleuca. A variável dependente foi o diâmetro do halo de inibição (mm) frente à cepa *Staphylococcus aureus* ATCC 25923.

2.3 População ou amostra e critérios de inclusão e exclusão

A amostra consistiu em uma cepa padrão de *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, obtida da coleção de culturas do Laboratório de Microbiologia do UNIFATEA. Foram incluídas apenas cepas com crescimento confirmado em ágar nutriente após 24 horas de incubação a 35°C. Cepas contaminadas ou com crescimento atípico foram excluídas.

2.4 Protocolo do estudo

2.4.1 Preparo do sabonete líquido antimicrobiano

As formulações foram elaboradas com os óleos essenciais de melaleuca (*Melaleuca alternifolia*), copaíba (*Copaifera officinalis*) e lavanda (*Lavandula angustifolia*), além de óleo vegetal de coco (*Cocos nucifera*), glicerina, extrato glicólico de *Aloe vera* (*Aloe barbadensis*), lauril éter sulfato de sódio, dietanolamida de ácido graxo de coco e cloreto de sódio como espessante (Tabela 1).

Tabela 1 - Composição percentual dos sabonetes líquidos formulados com óleos essenciais de copaíba, lavanda e melaleuca, com volume final de 50 mL.

Componentes	Composição percentual (%)			
	SA	SB	SC	SD
Óleo essencial de copaíba (v.v ⁻¹)	0,5	0,5	-	-
Óleo essencial de lavanda (v.v ⁻¹)	0,5	-	0,5	-
Óleo essencial de melaleuca (v.v ⁻¹)	0,5	-	-	0,5
Óleo vegetal de coco (v.v ⁻¹)	10,0	10,0	10,0	10,0
Glicerina (v.v ⁻¹)	3,0	3,0	3,0	3,0
Extrato glicólico de <i>Aloe vera</i> (v.v ⁻¹)	10,0	10,0	10,0	10,0
Lauril éter sulfato de sódio (v.v ⁻¹)	25,0	25,0	25,0	25,0
Dietanolamida de ácido graxo de coco (v.v ⁻¹)	2,0	2,0	2,0	2,0
Cloreto de sódio (m.v ⁻¹)	5,0	5,0	5,0	5,0
Água deionizada (q.s.p.)	100	100	100	100

Legenda: SA (Sabonete A); SB (Sabonete B); SC (Sabonete C); SD (Sabonete D). Um traço (-) indica ausência do componente na formulação.

Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

Inicialmente, foi preparada uma mistura contendo 3% v.v⁻¹ de glicerina e água deionizada, homogeneizada até completa solubilização. Em seguida, adicionaram-se 25% v.v⁻¹ de lauril éter sulfato de sódio e 2% v.v⁻¹ de dietanolamida, seguidos da adição de 5% m.v⁻¹ de cloreto de sódio até obtenção da viscosidade desejada. Após homogeneização, adicionou-se 10% v.v⁻¹ de extrato glicólico de *Aloe vera*. Por fim, os óleos essenciais foram incorporados previamente diluídos em óleo de coco, respeitando a concentração final de 0,5% v.v⁻¹ de cada óleo, conforme a formulação.

As amostras foram acondicionadas em frascos de vidro âmbar com volume de 50 mL, rotuladas e armazenadas em local fresco e protegido da luz direta.

2.4.2 Avaliações organolépticas

As formulações foram avaliadas sete dias após a preparação por quatro observadores, com base em critérios sensoriais relacionados à cor, homogeneidade e odor. Utilizou-se uma escala qualitativa com três níveis de aceitabilidade, sendo eles, aceitável, moderado ou inaceitável. Os critérios incluíram ausência de separação de fases (homogeneidade), presença de odor característico dos óleos essenciais e coloração visualmente uniforme.

2.4.3 Ensaios de atividade antimicrobiana

A atividade antimicrobiana foi avaliada pelo método de disco-difusão, conforme descrito por Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI), documento M100-S30 (CLSI, 2020). As suspensões bacterianas foram preparadas em solução salina 0,9% e ajustadas à turbidez padrão 0,5 da escala de McFarland ($1,5 \times 10^8$ UFC.mL⁻¹).

As placas de ágar nutriente (90 mm) foram inoculadas por espalhamento com auxílio de swab estéril. Os discos de papel filtro (6 mm de diâmetro) foram impregnados com 10 µL de cada formulação e colocados sobre o meio de cultura com pinça estéril. A água destilada estéril foi utilizada como controle negativo. Após incubação a 35 °C por 24 horas, os diâmetros dos halos de inibição foram medidos com paquímetro digital (precisão 0,01 mm). Os ensaios foram realizados em triplicata para cada formulação.

2.4.4 Análise dos resultados e estatística

Os diâmetros dos halos de inibição foram registrados como média $\pm$ desvio padrão. Para comparação entre as formulações (SA, SB, SC, SD), foi utilizada análise de variância (ANOVA) unidirecional, seguida do teste de Tukey para análise post-hoc, considerando nível

de significância de 5% ($p < 0,05$). Os dados organolépticos foram analisados qualitativamente com base na concordância entre os observadores.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Características organolépticas

As formulações (SA, SB, SC, SD) foram avaliadas quanto a odor, homogeneidade e cor após sete dias da preparação, apresentando características aceitáveis, com homogeneidade uniforme, ausência de separação de fases e coloração branca. De acordo com todos os observadores, o aroma foi agradável, refletindo os óleos essenciais de copaíba (*Copaifera officinalis*), lavanda (*Lavandula angustifolia*) e melaleuca (*Melaleuca alternifolia*). O pH das formulações variou entre 6,8 e 7,2, próximo ao neutro, o que minimiza o potencial irritante em peles sensíveis e preserva a barreira cutânea, conforme corroborado por Baranda *et al.* (2002). Além disso, a literatura indica que sabonetes com pH alcalino (9,0–10,0) podem causar ressecamento e dermatites (Ananthapadmanabhan *et al.*, 2004; Mendes *et al.*, 2016), problema evitado no presente estudo devido ao pH otimizado.

É válido ressaltar que durante os testes preliminares, optou-se pela substituição do extrato de calêndula (*Calendula officinalis*) por *Aloe vera* (*Aloe barbadensis*) para melhorar a aceitabilidade sensorial, resultando em coloração mais clara e odor suave, alinhando assim, à necessidade de selecionar ingredientes sensoriais adequados em cosméticos com óleos essenciais (Silva-Flores *et al.*, 2023). A viscosidade, ajustada com cloreto de sódio, também demandou testes prévios para garantir estabilidade diante da interação lipofílica/aquosa típica desses sistemas (Guzmán; Lucia, 2021).

3.2 Atividade antimicrobiana

A atividade antimicrobiana contra *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 foi avaliada pelo método de disco-difusão (CLSI, 2020), com os resultados expressos como média $\pm$ desvio padrão (**TABELA 2**). O controle negativo (água estéril) não exibiu inibição, confirmando a especificidade dos resultados. É importante ressaltar que, segundo a literatura, a vancomicina (30 μ g), antibiótico de referência contra *S. aureus*, exibe tipicamente um halo de inibição de $17,0 \pm 0,3$ mm para essa cepa (CLSI, 2020), embora não tenha sido testada neste estudo.

TABELA 2 - Diâmetros dos halos de inibição das formulações contra *S. aureus*. Valores em média $\pm$ desvio padrão, n = 3. IC 95 % calculado.

Formulação	Diâmetro do Halo (mm)	N	Intervalo de confiança (95%)
SA (0,5% v.v ⁻¹ de cada óleo essencial)	28,3 $\pm$ 0,17	3	27,9–28,7
SB (0,5% v.v ⁻¹ de copaíba)	44,0 $\pm$ 0,34	3	43,3–44,7
SC (0,5% v.v ⁻¹ de lavanda)	32,9 $\pm$ 0,07	3	32,7–33,1
SD (0,5% v.v ⁻¹ de melaleuca)	26,3 $\pm$ 0,07	3	26,1–26,5

Legenda: SA (Sabonete A); SB (Sabonete B); SC (Sabonete C); SD (Sabonete D).

Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

A ANOVA revelou diferenças altamente significativas ($F(3,8) = 1247$, $p < 0,001$) entre as quatro formulações. O teste de Tukey indicou desempenho superior de SB (44,0 mm) em relação a SA, SC e SD ($p < 0,01$), evidenciando a maior eficácia do óleo de copaíba. Adicionalmente, SC superou SA e SD ($p < 0,05$), enquanto SA e SD não diferiram entre si ($p = 0,12$).

Todas as formulações do presente estudo excederam o halo da vancomicina (CLSI, 2020), reforçando forte atividade antimicrobiana in vitro dos sabonetes. Além disso, o sabonete SB apresentou halo de inibição 76 % superior em comparação aos sabonetes comerciais com triclosan (20–25 mm) (Kim *et al.*, 2015), sendo as demais formulações (SA, SC, SD) competitivas. A eficácia do sabonete SB pode ser atribuída ao β -cariofileno, um sesquiterpeno que compõe 40-50% do óleo de copaíba (Santos *et al.*, 2008; Guimarães *et al.*, 2016). Esse composto desestabiliza a membrana bacteriana e inibe processos metabólicos, o que poderia explicar o seu maior desempenho. Com 0,5% v.v⁻¹ de óleo na formulação, a concentração estimada de β -cariofileno é de 0,2-0,25% v.v⁻¹, acima do limite de eficácia antimicrobiana ($>0,2\%$ v.v⁻¹) reportado na literatura (Santos *et al.*, 2008).

O sabonete SD exibiu o menor halo entre as formulações (26,3 mm), embora superior à vancomicina. O principal componente ativo, terpinen-4-ol, constitui 30-40% do óleo de melaleuca (Lis-Balchin; Deans; Eaglesham, 1998; Falci *et al.*, 2015). Com 0,5% v.v⁻¹ desse óleo, a concentração de terpinen-4-ol é estimada em 0,15-0,2% v.v⁻¹, abaixo da concentração mínima inibitória (CMI) de 0,25-0,5% v.v⁻¹ reportada por Hammer *et al.* (2012). Isso sugere que a quantidade de terpinen-4-ol no sabonete SD foi insuficiente para alcançar sua máxima eficácia. Em relação ao sabonete SC, verificou-se um desempenho intermediário em termos de eficácia antimicrobiana, com um halo de inibição de 32,9 mm.

Para o sabonete SA, com 0,5% v.v⁻¹ de cada óleo (total de 1,5% v.v⁻¹), verificou-se um halo de 28,3 mm, inferior a SB e SC isoladamente. A ausência de sinergismo observada nesta

formulação pode decorrer de interações antagônicas entre os terpenos e sesquiterpenos dos óleos, como competição por sítios de ligação na membrana bacteriana ou interferência mútua nos mecanismos de ação (Ananthapadmanabhan *et al.*, 2004). Além disso, a maior complexidade da formulação pode ter reduzido a biodisponibilidade dos compostos ativos. Apesar de menos eficaz que o sabonete SB, a formulação SA combina propriedades antimicrobianas - óleos de copaíba e melaleuca (Carson; Hammer; Riley, 2006; Arruda *et al.*, 2019) com efeitos calmantes - óleo de lavanda (Orchard; Van Vuuren, 2017; Michalak, 2023) e hidratantes - *Aloe vera* e óleo de coco (Ananthapadmanabhan *et al.*, 2004; Michalak, 2023), sendo promissora para peles acneicas ou sensíveis. Um protocolo de uso diário, como limpeza facial em pacientes com acne leve ou dermatite, poderia ser testado clinicamente. Já o sabonete SB, com alta eficácia, é ideal para infecções cutâneas em contextos comunitários e hospitalares (Orchard; Van Vuuren, 2017).

É importante ressaltar que os óleos essenciais são compostos biodegradáveis, o que oferece a essas formulações um menor impacto ambiental em relação aos agentes sintéticos (Guzmán; Lucia, 2021; Michalak, 2023). Ressalta-se também que o óleo essencial de copaíba, presente na formulação SB é um recurso amazônico, promovendo assim, cadeias produtivas sustentáveis na região (Orchard; Van Vuuren, 2017). Atendendo à crescente demanda por cosméticos naturais, impulsionada pela busca por sustentabilidade e segurança, as formulações desenvolvidas no presente estudo destacam-se como opções promissoras.

3.3 Pontos críticos, relevância clínica e perspectivas

Apesar dos resultados promissores, este estudo apresenta algumas limitações importantes. O uso de lauril éter sulfato de sódio, um tensoativo com reconhecido potencial irritante à pele, representa uma limitação relevante, sugerindo a necessidade de futuros testes com tensoativos mais suaves, como o decil glucosídeo (Baranda *et al.*, 2002; Ananthapadmanabhan *et al.*, 2004). Além disso, a cepa *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 utilizada nos ensaios microbiológicos *in vitro* é uma cepa laboratorial padrão e não representa cepas clínicas multirresistentes, como o MRSA, que possuem maior relevância para aplicações hospitalares (Elghali *et al.*, 2024).

Além dessas limitações previamente discutidas, destaca-se também a ausência de testes com cepas clínicas de maior virulência, o que restringe a capacidade de extrapolação dos resultados para cenários clínicos complexos. Outro fator limitante refere-se à estabilidade físico-química das formulações: não foram realizados ensaios de estabilidade acelerada ou de

longo prazo para monitorar alterações em parâmetros críticos, como pH, viscosidade, homogeneidade e manutenção da atividade antimicrobiana ao longo de períodos superiores a sete dias. Isso pode limitar o entendimento sobre a viabilidade de armazenamento e a durabilidade das formulações. Adicionalmente, é importante salientar que os resultados obtidos neste estudo são limitados ao ambiente *in vitro*, não permitindo inferências diretas sobre a eficácia clínica das formulações. Para isso, ensaios clínicos controlados e randomizados, conduzidos conforme as diretrizes éticas vigentes (Brasil, 2013), serão imprescindíveis para validar a segurança e a efetividade dos sabonetes líquidos desenvolvidos.

A eficácia *in vitro* observada, especialmente da formulação SB contendo óleo essencial de copaíba, sugere benefícios concretos para o manejo de infecções cutâneas causadas por *S. aureus*, como impetigo e foliculite, que acometem tanto a comunidade quanto o ambiente hospitalar. Estudos realizados em Unidades de Terapia Intensiva (UTI) brasileiras demonstram uma prevalência de aproximadamente 40% de infecções por *S. aureus*, sendo cerca de 13% atribuídas a cepas MRSA nas primeiras 48 horas de internação (Cavalcanti *et al.*, 2005). Além disso, pacientes que desenvolvem infecções hospitalares apresentam custos de internação até 75% superiores aos de pacientes não infectados, com reembolso médio de US\$ 2.721,00 contra US\$ 1.553,00 por internação (Osme *et al.*, 2020). A adoção de sabonetes com óleo de copaíba, cuja atividade antimicrobiana demonstrou ser 76% superior aos sabonetes comerciais à base de triclosan, poderia reduzir tanto a duração média das internações quanto a necessidade de intervenções dermatológicas adicionais, sobretudo em pacientes imunossuprimidos ou com pele sensível. Tais avanços não apenas promovem uma melhoria na qualidade da assistência, como também podem gerar impacto econômico positivo para o Sistema Único de Saúde (SUS).

Em síntese, as formulações desenvolvidas no presente estudo, especialmente o sabonete SB com óleo essencial de copaíba, demonstram potencial para competir com agentes sintéticos, oferecendo maior eficácia antimicrobiana, perfil de biodegradabilidade e estímulo a cadeias produtivas sustentáveis. Esses atributos, aliados à crescente demanda por cosméticos naturais, sugerem benefícios terapêuticos e segurança cutânea, embora testes clínicos sejam necessários para sua validação definitiva. Assim, o presente estudo reforça o potencial dos óleos essenciais como alternativa eficaz e sustentável frente à resistência bacteriana, contribuindo para o desenvolvimento de cosméticos funcionais com aplicações antimicrobianas.

Além da eficácia microbiológica, a sustentabilidade ambiental das formulações merece destaque, uma vez que os óleos essenciais utilizados são provenientes de fontes renováveis e apresentam perfil de biodegradabilidade, reduzindo assim, o potencial de bioacumulação em corpos hídricos. Estudos recentes sobre Avaliação de Ciclo de Vida (LCA) de cosméticos naturais reforçam a importância de substituir compostos sintéticos por alternativas de origem vegetal, alinhando o desenvolvimento de novos produtos aos princípios da química verde e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 12 – Consumo e Produção Sustentáveis).

CONCLUSÃO

Este estudo desenvolveu sabonetes líquidos antimicrobianos com óleos essenciais de copaíba, lavanda, melaleuca, que se mostraram eficazes contra *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, e com características organolépticas adequadas (coloração branca, aroma agradável, homogeneidade).

Todas as formulações testadas (SA, SB, SC, SD) apresentaram halos de inibição maiores que os observados para a vancomicina e triclosan, com destaque para o sabonete SB (com óleo essencial de copaíba) sendo o mais eficaz. Por apresentar uma elevada atividade antimicrobiana, esse sabonete pode ser incorporado em protocolos de higiene pré-operatória e em produtos de limpeza de pele para descolonização em UTIs, contribuindo para a redução de infecções cutâneas. Além disso, para pacientes com pele sensível, o pH neutro (6,8–7,2) e o aroma suave tornam as formulações adequadas para uso diário, diminuindo o risco de irritação e a necessidade de consultas dermatológicas.

Apesar da ausência de sinergismo, a formulação SA alia ação antimicrobiana moderada a propriedades calmantes e hidratantes, posicionando-se como uma opção promissora para linhas de cosméticos faciais voltadas ao tratamento de acne e foliculite, com baixo potencial de efeitos adversos cutâneos.

Entretanto, algumas limitações precisam ser destacadas para orientação de trabalhos futuros. O uso de lauril éter sulfato de sódio, tensoativo com potencial irritante, sugere a necessidade de testar surfactantes mais suaves, como o decil glucosídeo, de forma a manter a liberação dos compostos bioativos sem comprometer a tolerabilidade. Outro ponto seria expandir os estudos de forma a incluir cepas clínicas de MRSA e outros patógenos relevantes, validando assim, a eficácia em condições reais de infecção. Além disso, estudos clínicos

controlados, conduzidos segundo as normas éticas vigentes, serão essenciais para avaliar desfechos como a redução de lesões, melhora da sintomatologia e custo-efetividade no SUS.

Os resultados do presente estudo não apenas demonstram o potencial dos óleos essenciais em sabonetes antimicrobianos, mas também apontam caminhos claros para sua aplicação hospitalar e cosmética, combinando eficácia, segurança cutânea e sustentabilidade. Ensaios clínicos futuros serão essenciais para validar a segurança e a eficácia dessas formulações em contexto clínico real.

Fontes de Financiamento

Não houve financiamento.

Conflito de Interesses

Não há conflito de interesses.

Colaboradores

Concepção do estudo: ACG, GR, JC, BF

Curadoria dos dados: ACG, GR, JC, BF

Coleta de dados: ACG, GR, JC, BF

Análise dos dados: ACG, GR, JC, BF

Redação do manuscrito original: ACG, GR, JC, BF

Redação da revisão e edição: BF

REFERÊNCIAS

ANANTHAPADMANABHAN, K. P.; MOORE, D. J.; SUBRAMANYAN, K.; MISRA, M.; MEYER, F. Cleansing without compromise: the impact of cleansers on the skin barrier and the technology of mild cleansing. **Dermatology Therapy**, v. 17, p. 16–25, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1396-0296.2004.04S1002.x>. Acesso em: 23 jun. 2025.

ARRUDA, C.; ALDANA MEJÍA, J. A.; RIBEIRO, V. P.; GAMBETTA BORGES, C. H.; MARTINS, C. H. G.; SOLA VENEZIANI, R. C.; AMBRÓSIO, S. R.; BASTOS, J. K. Occurrence, chemical composition, biological activities and analytical methods on *Copaifera* genus-A review. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 109, p. 1-20, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.10.030>. Acesso em: 23 jun. 2025.

BARANDA, L.; GONZÁLEZ-AMARO, R.; TORRES-ALVAREZ, B.; ALVAREZ, C.; RAMÍREZ, V. Correlation between pH and irritant effect of cleansers marketed for dry skin.

International Journal of Dermatology, v. 41, n. 8, p. 494-499, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1046/j.1365-4362.2002.01555.x>. Acesso em: 23 jun. 2025.

BOUGUENOUN, W.; BENBELAID, F.; MEBARKI, S.; BOUGUENOUN, I.; BOULMAIZ, S.; KHADIR, A.; BENZIANE, M. Y.; BENDAHOU, M.; MUSELLI, A. Selected antimicrobial essential oils to eradicate multi-drug-resistant bacterial biofilms involved in human nosocomial infections. **Biofouling**, v. 39, n. 8, p. 816-829, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/08927014.2023.2269551>. Acesso em: 23 jun. 2025.

BRASIL. Conselho Nacional de Saúde. Resolução nº 466, de 12 de dezembro de 2012. Diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisas envolvendo seres humanos. **Diário Oficial da União**, 13 jun. 2013. Disponível em: <https://www.gov.br/conselho-nacional-de-saude/pt-br/aceso-a-informacao/atos-normativos/resolucoes/2012/resolucao-no-466.pdf/view>. Acesso em: 23 jun. 2025.

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. Disponível em: <https://doi.org/10.1128/cmr.19.1.50-62.2006>. Acesso em: 23 jun. 2025.

CAVALCANTI, S. M. M.; DE FRANÇA, E. R.; CABRAL, C.; VILELA, M. A.; MONTENEGRO, F.; MENEZES, D.; MEDEIROS, A. C. R. Prevalence of *Staphylococcus aureus* introduced into intensive care units of a University Hospital. **Brazilian Journal of Infectious Diseases**, v. 9, n. 1, p. 56-63, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-86702005000100010>. Acesso em: 23 jun. 2025.

CLINICAL AND LABORATORY STANDARDS INSTITUTE. **Performance Standards for Antimicrobial Disk Susceptibility Tests: Zone Diameter Interpretive Tables**. CLSI document M100-S30. 30th ed. Wayne, PA: CLSI, 2020. Disponível em: <https://www.nih.org.pk/wp-content/uploads/2021/02/CLSI-2020.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2025.

ELGHALI, F.; IBRAHIM, I.; GUESMI, M.; FRIKHA, F.; MNIF, S. Unveiling the impact of selected essential oils on MRSA strain ATCC 33591: Antibacterial efficiency, biofilm disruption, and staphyloxanthin inhibition. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 55, n. 3, p. 2057-2069, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42770-024-01374-2>. Acesso em: 23 jun. 2025.

FALCI, S. P.; TEIXEIRA, M. A.; CHAGAS, P. F.; MARTINEZ, B. B.; LOYOLA, A. B.; FERREIRA, L. M.; VEIGA, D. F. Antimicrobial activity of *Melaleuca* sp. oil against clinical isolates of antibiotics resistant *Staphylococcus aureus*. **Acta Cirúrgica Brasileira**, v. 30, n. 6, p. 401-406, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-865020150060000005>. Acesso em: 23 jun. 2025.

GUIMARÃES, A. L. C.; CUNHA, E. A.; MATIAS, F. O.; GARCIA, P. G.; DANOPOULOS, P.; SWIKIDISA, R.; PINHEIRO, V. A.; NOGUEIRA, R. J. L. Antimicrobial activity of copaiba (*Copaifera officinalis*) and pracaxi (*Pentaclethra macroloba*) oils against *Staphylococcus aureus*: Importance in compounding for wound care. **International Journal**

of Pharmaceutical Compounding, v. 20, n. 1, p. 58-62, 2016. Disponível em: <https://europepmc.org/article/med/27125055>. Acesso em: 23 jun. 2025.

GUZMÁN, E.; LUCIA, A. Essential oils and their individual components in cosmetic products. **Cosmetics**, v. 8, n. 4, p. 114, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/cosmetics8040114>. Acesso em: 23 jun. 2025.

HAMMER, K. A.; CARSON, C. F.; RILEY, T. V. Effects of *Melaleuca alternifolia* (tea tree) essential oil and the major monoterpene component terpinen-4-ol on the development of single- and multistep antibiotic resistance and antimicrobial susceptibility. **Antimicrobial Agents and Chemotherapy**, v. 56, n. 2, p. 909-915, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1128/aac.05741-11>. Acesso em: 23 jun. 2025.

KAIREY, L.; AGNEW, T.; BOWLES, E. J.; BARKLA, B. J.; WARDLE, J.; LAUCHE, R. Efficacy and safety of *Melaleuca alternifolia* (tea tree) oil for human health—A systematic review of randomized controlled trials. **Frontiers in Pharmacology**, v. 14, p. 1116077, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fphar.2023.1116077>. Acesso em: 23 jun. 2025.

KIM, S. A.; MOON, H.; LEE, K.; RHEE, M. S. Bactericidal effects of triclosan in soap both in vitro and in vivo. **Journal of Antimicrobial Chemotherapy**, v. 70, n. 12, p. 3345–3352, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jac/dkv275>. Acesso em: 23 jun. 2025.

LIS-BALCHIN, M.; DEANS, S. G.; EAGLESHAM, E. Relationship between bioactivity and chemical composition of commercial essential oils. **Flavour and Fragrance Journal**, v. 13, n. 2, p. 98-104, 1998. Disponível em: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1026\(199803/04\)13:2<98::AID-FFJ705>3.0.CO;2-B](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1026(199803/04)13:2<98::AID-FFJ705>3.0.CO;2-B). Acesso em: 23 jun. 2025.

MENDES, B. R.; SHIMABUKURO, D. M.; UBER, M.; ABAGGE, K. T. Critical assessment of the pH of children's soap. **Jornal de Pediatria (Rio J)**, v. 92, n. 3, p. 290–295, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jped.2015.08.009>. Acesso em: 23 jun. 2025.

MICHALAK, M. Plant extracts as skin care and therapeutic agents. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, p. 15444, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms242015444>. Acesso em: 23 jun. 2025.

ORCHARD, A.; VAN VUUREN, S. Commercial essential oils as potential antimicrobials to treat skin diseases. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, v. 2017, p. 4517971, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2017/4517971>. Acesso em: 23 jun. 2025.

OSME, S. F.; ALMEIDA, A. P. S.; LEMES, M. F.; BARBOSA, W. O.; ARANTES, A.; MENDES RODRIGUES, C.; GONTIJO FILHO, P. P.; RIBAS, R. M. Costs of healthcare associated infections to the Brazilian public Unified Health System in a tertiary care teaching hospital: a matched case control study. **Journal of Hospital Infection**, v. 106, n. 2, p. 303-310, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.07.015>. Acesso em: 23 jun. 2025.

SANTOS, A. O.; UEDA-NAKAMURA, T.; DIAS FILHO, B. P.; VEIGA JUNIOR, V. F.; PINTO, A. C.; NAKAMURA, C. V. Antimicrobial activity of Brazilian copaiba oils obtained

from different species of the *Copaifera* genus. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 103, n. 3, p. 277–281, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0074-02762008005000015>. Acesso em: 23 jun. 2025.

SILVA-FLORES, P. G.; GALINDO-RODRÍGUEZ, S. A.; PÉREZ-LÓPEZ, L. A.; ÁLVAREZ-ROMÁN, R. Development of essential oil-loaded polymeric nanocapsules as skin delivery systems: Biophysical parameters and dermatokinetics ex vivo evaluation. **Molecules**, v. 28, n. 20, p. 7142, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules28207142>. Acesso em: 23 jun. 2025.

TRUONG, S.; MUDGIL, P. The antibacterial effectiveness of lavender essential oil against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*: a systematic review. **Frontiers in Pharmacology**, v. 14, p. 1306003, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fphar.2023.1306003>. Acesso em: 23 jun. 2025.

WIŃSKA, K.; MAĆZKA, W.; ŁYCZKO, J.; GRABARCZYK, M.; CZUBASZEK, A.; SZUMNY, A. Essential oils as antimicrobial agents—myth or real alternative? **Molecules**, v. 24, n. 11, p. 2130, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules24112130>. Acesso em: 23 jun. 2025.