**ATIVIDADE ANTIMICROBIANA DE BIOPOLÍMEROS ASSOCIADOS A ÓLEOS ESSENCIAIS**

ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF BIOPOLYMER ASSOCIATED WITH ESSENTIAL OILS

Thaís Faller Petry¹, Tiago Antônio Heringer^{2*}, Liliame Damaris Pollo³, Chana de Medeiros da Silva², Jane Dagmar Pollo Renner²

¹Universidade de Santa Cruz do Sul – Curso de Biomedicina – Departamento de Ciências da Vida – Santa Cruz do Sul, RS, Brasil. ²Universidade de Santa Cruz do Sul – Departamento de Ciências da Vida – Programa de Pós-Graduação em Promoção da Saúde – Santa Cruz do Sul, RS, Brasil. ³Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Departamento de Engenharia Química, Escola de Engenharia – Porto Alegre, RS, Brasil.

***Autor correspondente:** Tiago Antônio Heringer – **Email:** taheringer@unisc.br

Recebido: 20 set. 2024

Aceito: 01 ago. 2025

Editores-chefes: Dr. Leonardo Pestillo de Oliveira e Dr. Mateus Dias Antunes

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.



RESUMO: O objetivo foi desenvolver biopolímeros à base de quitosana associado aos óleos essenciais com propriedades antimicrobianas. A quitosana foi preparada a partir de uma solução, após foi adicionado óleos essenciais em determinadas concentrações. Seguidos de análises organolépticas, cromatografia gasosa, FTIR e grau de inchamento. A atividade antimicrobiana foi realizada através do método disco-difusão em ágar, utilizando suspensões microbianas. Os compostos majoritários referentes à cromatografia frente aos óleos de orégano e melaleuca foram, respectivamente, o carvacrol e o 3-Carene. A membrana de quitosana associada aos óleos analisados no grau de inchamento apresentaram hidrofiliicidade na matriz polimérica. Foi observado no FTIR interação na matriz de quitosana com os óleos testados. Na análise organoléptica os filmes apresentaram alta homogeneidade. As emulsões filmogênicas, referentes à atividade antimicrobiana os filmes apresentaram zona de inibição frente aos microrganismos testados. As análises demonstraram a possibilidade em desenvolver um biopolímero tornando promissor para a aplicabilidade biomédica.

PALAVRAS-CHAVE: Melaleuca. Óleos Essenciais. *Origanum vulgare*. Produtos com Ação Antimicrobiana. Quitosana.

ABSTRACT: The objective of this study was to develop chitosan-based biopolymers associated with essential oils with antimicrobial properties. Chitosan was prepared from a solution, followed by the addition of essential oils at specific concentrations, and the materials were subjected to organoleptic analysis, gas chromatography, Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), and swelling degree evaluation. Antimicrobial activity was assessed using the agar disk diffusion method with microbial suspensions. The major compounds identified by chromatography in oregano and tea tree essential oils were carvacrol and 3-carene, respectively. The chitosan membranes associated with the tested oils showed hydrophilicity in the polymeric matrix according to the swelling degree analysis, while FTIR results indicated interactions between the chitosan matrix and the incorporated oils. Organoleptic analysis demonstrated high homogeneity of the films, and in the evaluation of antimicrobial activity, the film-forming emulsions exhibited inhibition zones against the tested microorganisms. These analyses demonstrate the feasibility of developing a biopolymer with promising potential for biomedical applications.

KEYWORDS: Chitosan. Essential Oils. Melaleuca. *Origanum vulgare*. Products with Antimicrobial Action.

INTRODUÇÃO

Complicações graves são evidenciadas através das infecções relacionadas à assistência à saúde (IRAS), comprometendo a saúde e risco de segurança dos pacientes, além de aumentarem as chances de morbidade e óbitos dos mesmos¹. As estratégias que podem ser utilizadas como danos evitáveis para minimizar as infecções no âmbito hospitalar se tornaram um assunto muito discutível na sociedade contemporânea^{2,3}.

Perante a segurança do paciente deve ser determinada a qualidade de subsídios para a assistência segura à saúde que visam reduzir os riscos de danos não essenciais associados aos cuidados em saúde⁴. Pelo quadro clinicamente grave e por intervenções médicas de caráter invasivo, pacientes que se encontram em unidade de terapia intensiva (UTI), se tornam mais suscetíveis a adquirirem processos infecciosos⁵.

Perante o exposto, iniciativas são criadas visando reduzir a incidência de IRAS nas instituições de saúde através da implementação de um *bundle estruturado*. Essa abordagem tem como intuito reduzir e prevenir infecções relacionadas à saúde, em que a implementação correta do *bundle estruturado* deve ser precisa assegurando que o mesmo mantenha uma proteção efetiva para o paciente⁶.

Embora curativos comercialmente disponíveis no mercado atual sejam eficientes, há dificuldades para o descarte desses materiais contaminados, além da produção exacerbada que esses resíduos hospitalares geram ao meio ambiente. Em vista disso, novas tecnologias estão sendo implementadas a fim de reduzir os resíduos que são gerados no ambiente hospitalar com o uso de biopolímeros⁷.

Um polímero natural promissor é a quitosana, derivada da desacetilação básica da quitina encontrada no exoesqueleto de crustáceos artrópodes e moluscos, apresenta aplicabilidades na área biomédica como ação antibacteriana - tanto de bactérias Gram positivas e Gram negativas - e antifúngica e pode ser utilizada em filmes poliméricos, géis em produtos como nanopartículas, devido ao seu caráter hidrofílico e suas características biológicas características além de ser biodegradável podendo ser utilizada na fabricação de coberturas para cateter e curativos em feridas⁸.

Aliado aos polímeros naturais têm-se os óleos essenciais, substâncias voláteis de misturas complexas, lipofílicas, odoríferas e líquidas que são extraídas de plantas aromáticas. Ademais, a composição dos óleos essenciais irá depender de sua especificidade, conforme a sua espécie e da parte da planta do qual foi extraído⁹.

Extraído de pequenas folhas da erva *Origanum vulgare*, o óleo essencial de orégano apresenta ação antimicrobiana contra microrganismos. Sendo o timol e o Carvacrol os principais compostos efetivos pela ação antimicrobiana¹⁰.

Apesar do mecanismo do óleo essencial de orégano não estar totalmente elucidado, o mesmo consegue penetrar a camada de peptidoglicano e atuar na membrana citoplasmática das bactérias Gram-positivas. Outro óleo essencial promissor é a *Melaleuca alternifolia*, a sua extração ocorre através do método de destilação por arraste a vapor ou através da hidrodestilação¹¹.

O óleo essencial de melaleuca apresenta ter como principal produto extraído o TTO- *tea tree oil* reconhecido por ser um agente antimicrobiano e cicatrizante¹². O mecanismo de ação bactericida do óleo de *Melaleuca alternifolia* ocorre devido ao comprometimento da membrana celular, reduzindo o material intracelular e ocasionado a incapacidade de manter a homeostase e a respiração celular¹³.

Mediante ao problema acima exposto, este estudo tem como objetivo desenvolver biopolímeros à base de quitosana associado aos óleos essenciais com propriedades antimicrobianas.

MÉTODOS

O presente trabalho trata-se de um estudo experimental *in vitro*, cujo objetivo foi avaliar a eficácia de biopolímeros à base de quitosana associados a óleos essenciais frente a microrganismos frequentemente relacionados às IRAS. Utilizou-se uma matriz biodegradável com a finalidade de investigar o potencial desses compostos como alternativa terapêutica para aplicações biomédicas. Cabe ressaltar que, por se tratar de uma investigação *in vitro*, não foram contempladas análises referentes à aplicabilidade em larga escala nem aos impactos econômicos decorrentes do uso do material desenvolvido.

A amostra foi composta de polímeros de quitosana de alta viscosidade e média massa molecular, o solvente ácido acético 1% e o TWEEN® 80 (tensoativo de polissorbato), que foram adquiridos da Sigma Aldrich®. Os óleos essenciais de *Melaleuca alternifolia*, *Origanum vulgare* foram adquiridos comercialmente dōTERRA. Para os testes de atividade antimicrobiana, foram utilizadas cepas ATCC (American Type Culture Collection) de *Staphylococcus aureus* (ATCC 29213), *Staphylococcus epidermidis* (ATCC 14990), *Escherichia coli* (ATCC 25922) *Candida albicans* ATCC (750).

As adições dos óleos essenciais foram realizadas conforme modelo proposto por Wang e colaboradores (2011), com adaptações. À solução de quitosana preparada, seguindo a descrição prévia, foi adicionado 0,5% do emoliente glicerol (Sigma Aldrich®) e 0,5% do tensoativo Tween 80 (Sigma Aldrich®), uma vez que o caráter hidrofóbico dos óleos não permite a homogeneização, seguido de 30 minutos de agitação. À essa solução, adicionar quantidades de 1% (v/v) de melaleuca (*Melaleuca alternifolia*) e 1% (v/v) de orégano (*Origanum vulgare*), de maneira associada. A solução de quitosana associada ao(s) óleo(s) essencial(is) foi mantida sob agitação por 90 minutos. Em seguida, foram colocadas as emulsões em aparelho de ultrassom (Unique®, modelo Ultrasonic Cleaner), durante 10 minutos, para a remoção de bolhas. Após, as emulsões foram pesadas em placas de Petri (15g), sendo estas submetidas à secagem em estufa com circulação de ar forçada (Tecnal TE-394/3) a 35 °C por 72 h. Ao final, as placas contendo os filmes de quitosana incorporados com os óleos essenciais foram cobertas por papel alumínio e mantidas em dessecador até o momento da sua utilização para as análises¹⁴.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS ÓLEOS

A análise da composição química dos óleos essenciais de *Origanum vulgare*, e *Melaleuca alternifolia* adquiridos comercialmente, foram realizadas utilizando a Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massa (CG-EM), em equipamento QP2010 Plus (Shimadzu®). Foi utilizada uma coluna capilar de sílica fundida (30 m x 0,25 mm x 0,25 µm) e a temperatura foi regulada de 60-250°C, aumentando 4°C/ minuto. Detector de massas com injetor Split (SPL) com um volume de injeção de 1 µL foi utilizado. O gás de arraste utilizado foi o gás Hélio. Os constituintes foram identificados através da biblioteca armazenada no banco de dados do software do equipamento.

INTERAÇÃO DA QUITOSANA COM OS ÓLEOS ESSENCIAIS

A composição química da quitosana, bem como as associações com os óleos essenciais e isolados foram caracterizados por análise por espectroscopia na região do infravermelho em um espectrômetro de infravermelho da marca Perkin Elmer® modelo Spectrum 400. Foi realizada a medida das amostras bem ao centro dos biopolímeros, os quais foram posicionados diretamente no acessório ATR (Attenuated Total Reflectance) na região compreendida entre 4.000 a 650 cm⁻¹.

GRAU DE INCHAMENTO

Para a análise do grau de inchamento foram utilizados os métodos gravimétrico e dimensional. O método gravimétrico considera a massa inicial seca de uma amostra de filme (2 x 2 cm) e a massa após 24 h de imersão em água destilada. Primeiramente, o filme seco foi pesado (m_i ;g) e, em seguida, o mesmo foi imerso em um béquer com aproximadamente 50 mL de água destilada. Após 24h de imersão, o filme foi retirado e removido o excesso de água com papel absorvente; pesou-se novamente (m_f ;g) o filme. O percentual de inchamento foi calculado através da seguinte equação:

$$\text{Grau de inchamento \%} = (m_f - m_i) \cdot m_i^{-1} \cdot 100$$

No método dimensional foram comparadas as dimensões inicial e final das amostras de filme após a imersão em água destilada durante 24h. A dimensão inicial das amostras analisadas foi de 2 x 2 cm. Esta análise foi realizada em duplicata e calculado a média e o desvio padrão.

ANÁLISE ORGANOLÉPTICA

Os polímeros de quitosana com associação do óleo de melaleuca com óleo de orégano foram avaliados qualitativamente quanto às suas características de cor, aspecto e homogeneidade por meio de análise visual e tátil.

Quanto ao aspecto, foram analisadas as seguintes características: transparente (quando se consegue ver nitidamente o que está por trás); não transparente (quando não permite distinguir o que fica atrás); textura plástica (semelhante ao papel celofane); textura sedosa (oleosa, que desliza com mais facilidade), textura áspera (não regular, não agradável ao toque); maleável (elástico, flexível, dobrável); parcialmente maleável (redução da elasticidade e flexibilidade). Referente a homogeneidade, foram classificados como: homogêneo (composição uniforme cujos componentes não são facilmente distinguidos) e parcialmente homogêneo (composição com menor uniformidade, podendo distinguir componentes mais concentrados em alguns locais).

ATIVIDADE ANTIMICROBIANA

Para avaliar a atividade antimicrobiana das coberturas desenvolvidas, foram utilizadas cepas padrão das bactérias *Staphylococcus aureus* (ATCC 29213) e *Escherichia coli* (ATCC 25922) e da levedura *Candida albicans* (ATCC 750). O teste de atividade antimicrobiana foi realizado pelo método de disco-difusão em ágar, utilizando as soluções/emulsões, as quais foram adicionadas a discos de papel filtro estéril (5mm de diâmetro); e as coberturas antimicrobianas, em que os filmes foram cortados em forma de discos (6 mm de diâmetro), com o auxílio de um perfurador previamente higienizado com álcool 70%. A avaliação da atividade antimicrobiana foi realizada conforme método proposto por Archana, Dutta e Dutta com adaptações. Os testes foram realizados em duplicata e calculado a média dos halos, em ágar Mueller Hinton para as bactérias e ágar *Sabouraud* dextrose para a levedura¹⁵.

Inicialmente, suspensões microbianas das cepas padrão foram preparadas, utilizando salina estéril, a 0,5 na escala de *Mc Farland*. Para a atividade antibacteriana foi utilizado o ágar *Mueller Hinton*, em que com o auxílio de um *swab* estéril, as suspensões bacterianas das cepas padrão de *S. aureus* e *E. coli* foram semeadas no ágar. Após as semeaduras, foram adicionados discos de papel filtro estéril para testagem dos óleos puros, das soluções de quitosana pura e quitosana associada ao tensoativo, e das emulsões, contendo quitosana associada ao tensoativo e óleo essencial individual e, também, com associação de dois óleos, em busca de sinergismo.

As amostras foram distribuídas da seguinte maneira: (1) 3 µL do óleo essencial puro; (2) 10 µL da solução e os discos do filme de quitosana puro; (3) 10 µL da solução e os discos do filme de quitosana contendo o glicerol e Tween; (4) 10 µL da emulsão e os discos do filme de quitosana contendo o agente antimicrobiano isolado e (5) 10 µL da emulsão e os discos do filme de quitosana contendo os agentes antimicrobianos associados. Para a atividade antifúngica utilizou-se o ágar *Sabouraud* dextrose e a cepa padrão de *C. albicans*, em que irão ser testados as soluções e os filmes, conforme técnica descrita para atividade antibacteriana. Para verificação da atividade antimicrobiana, as placas foram incubadas em estufa bacteriológica por 18 h a 37°C para as bactérias e 48 h de incubação a 28°C para a levedura. Após as leituras da atividade antimicrobiana das soluções e dos filmes irão ser realizadas através da medida do halo de inibição, com o auxílio de um paquímetro.

O controle de qualidade das cepas padrão estudadas foi realizado por meio da técnica de disco-difusão em ágar, utilizando discos de Cefoxitina (*S. aureus*) e (*S. epidermidis*), Ampicilina (*E. coli*), conforme BrCAST (2021)¹⁶. Todos irão ser incubados em estufa, conforme especificação para cada microrganismo, sendo posteriormente realizada a leitura dos halos de inibição para cada droga antimicrobiana testada. Para óleos essenciais puros, as zonas de inibição superiores a 15,0 mm de diâmetro caracterizam os óleos essenciais como muito ativos, entre 10,0-15,0 mm como compostos ativos e inferior a 10,0 mm como compostos inativos¹⁷.

O projeto faz parte de um projeto maior intitulado “Síntese e caracterização de biopolímeros com atividade antimicrobiana para o desenvolvimento de cobertura para cateteres” cadastrado no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético (SISGEN) com o número A98EBF9.

Não foram realizadas análises estatísticas comparativas entre os óleos essenciais, uma vez que cada um apresenta características físico-químicas distintas, o que inviabilizaria uma comparação direta e fidedigna entre eles. Dessa forma, os dados serão apresentados com a respectiva variação entre as triplicatas, expressa por meio do desvio padrão.

RESULTADOS

CROMATOGRAFIA GASOSA ACOPLADA À ESPECTROMETRIA DE MASSA

Identificação percentual das substâncias obtidas da amostra do óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* e *Origanum vulgare* estão representadas nas figuras 1 e 2, respectivamente.

ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER

A FTIR dos filmes de quitosana e associados aos óleos essenciais de *Melaleuca alternifolia* e *Origanum vulgare* são apresentadas na figura 3.

GRAU DE INCHAMENTO

A avaliação do grau de inchamento dos filmes se encontra na Tabela 1.

ANÁLISE ORGANOLÉPTICA

Análise organoléptica e qualitativa das características dos filmes de quitosana estão representados no quadro 1.

ANÁLISE MICROBIOLÓGICA

Os resultados da atividade antimicrobiana dos óleos essenciais isolados de *Melaleuca alternifolia* e *Origanum vulgare* bem como das soluções e filmes, frente aos microrganismos testados, estão apresentados na tabela 2.

DISCUSSÃO

A presença do Aromadendreno, α -Guaiene, α -Terpineol e 2-Metilisoborneol como compostos majoritários do óleo essencial de *Melaleuca* na análise da cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa¹⁸. As altas porcentagens de Carvacrol (69,1%) e p-cimeno (18,8%) perante o óleo essencial de orégano. Mediante os resultados encontrados na pesquisa da incorporação do óleo essencial de orégano apresentou como componente majoritário o Carvacrol, já o óleo essencial de melaleuca evidenciou como composto principal o 3-Carene¹¹ (Figura 1 e 2).

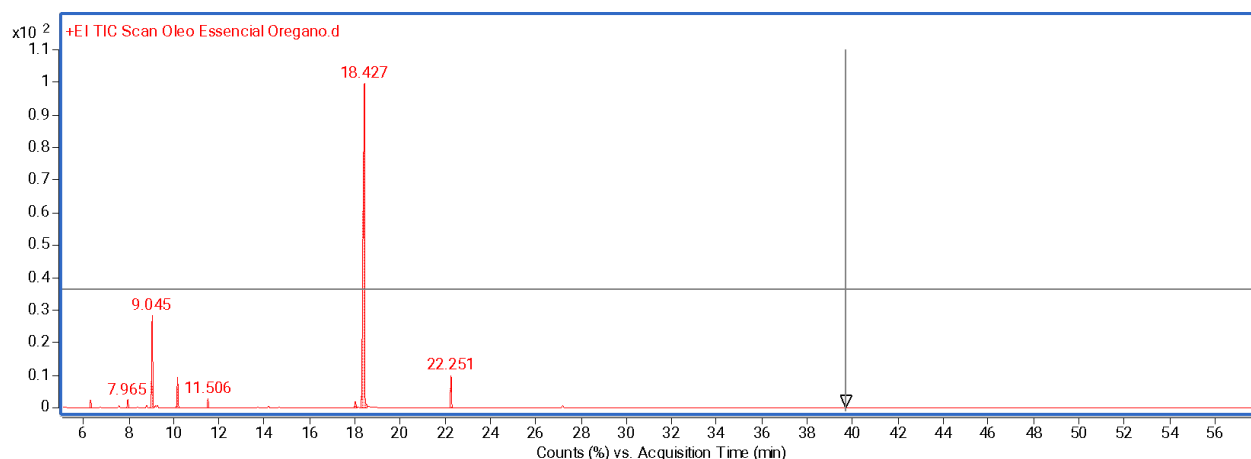


Figura 1. Cromatograma obtido para a amostra de óleo essencial de orégano. 1- Carvacrol; 2- O- Cymene; 3- gamma- Terpinene; 4- Caryophyllene; 5- Linalool; 6- beta- Myrcene.

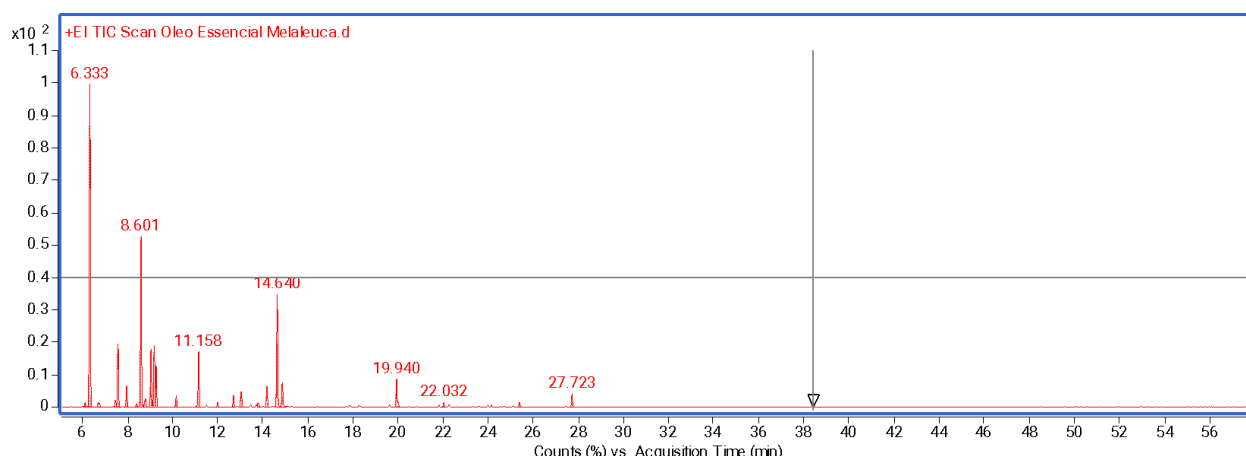


Figura 2. Cromatograma obtido para a amostra de óleo essencial de melaleuca. 1- 3- Carene ; 2- L- alpha- Terpineol; 3- D-Limonene; 4- o- Cymene; 5- l- methylethylidene; 6- Eucalyptol; 7- beta- Myrcene; 8- L- alpha- Terpineol- 4-ol; 9- Alpha terpinyl acetato; 10- gamma- Terpinene.

Em relação a espectroscopia do infravermelho com transformada de Fourier, observa-se na banda 3652 cm^{-1} características da quitosana ($\text{Nh}_2\text{ OH}$), ademais, na banda 2928 cm^{-1} , foi identificado a

sobreposição da quitosana tween+glicerol (CH₂). Em 1175 cm⁻¹ e 1168 cm⁻¹ foi identificada a vibração de Carvacrol, característico do óleo essencial de orégano. A frequência entre 1150 cm⁻¹ foi observado o maior pico da associação dos óleos essenciais de *Melaleuca alternifolia* e *Origanum vulgare*. A frequência 1660 cm⁻¹, refere-se aos estiramentos de -C=C- encontrados na molécula do orégano¹⁹. Já para Mendes (2022), as frequências 1446 e 1357 cm⁻¹ indicam uma vibração de dobramento da ligação -CH₂, outras bandas são nítidas em torno de 1250 cm⁻¹ e 1020 cm⁻¹ as quais denotam alongamentos de C-O nos grupos aromáticos. Ademais, observa-se a presença do componente majoritário do óleo essencial de *Melaleuca alternifolia*, terpinenos, pinemos e álcoois sesquiterpenos¹² (Figura 3).

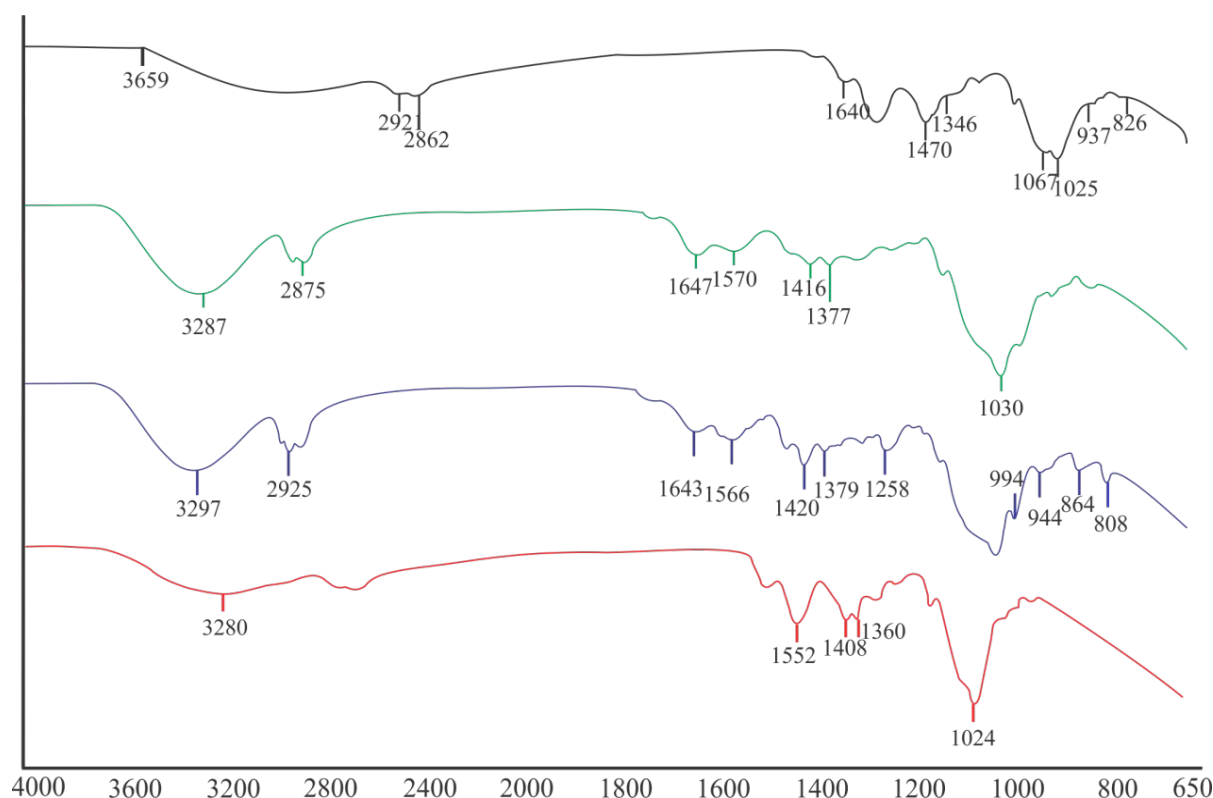


Figura 3. Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR). **Cor preta** FQ/TG (Filme de quitosana 1,75% + Tween 80 + Glicerol); **Cor verde** (Filme de quitosana 1,75% + Tween 80 + Glicerol + óleo essencial de melaleuca 2% (v/v); **Cor azul** (Filme de quitosana 1,75% + Tween 80 + Glicerol + óleo essencial de orégano 2% (v/v); **Cor vermelha** FQ/TG-OEO+ OEM (Filme de quitosana 1,75% + Tween 80 + Glicerol + óleo essencial de orégano 1% + óleo essencial de melaleuca 1%).

O óleo essencial de *Origanum vulgare* associado ao óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* apresentou mudanças na matriz polimérica do filme de quitosana em ambos os filmes testados. Os resultados apresentados na matriz polimérica dos filmes testados no óleo essencial de orégano referente à análise das amostras de inchamento, apresentaram C e absorção da matriz polimérica²⁰, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Grau de inchamento dos filmes de quitosana associados aos óleos isolados de orégano, melaleuca e associados.

Filme	Grau de inchamento (%)
FQ/TG/OEO	106,8
FQ/TG/OEM	122,2
FQ/TG/OEO+OEM	105,53

Legenda: FQ/TG/OEO: Filme de quitosana 1,75% + óleo essencial de orégano 2% (v/v); FQ/TG/OEM: Filme de quitosana 1,75% + óleo essencial de melaleuca 2% (v/v); FQ/TG/OEO + OEM (Filme de quitosana 1,75% + óleo essencial de orégano 1% (v/v) + óleo essencial de melaleuca 1% (v/v).

O filme de quitosana pura e os filmes com a associação do óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* e *Origanum vulgare* apresentaram resultados semelhantes, sendo flexíveis, maleáveis e transparentes à luz visível. Foram evidenciados mediante a^{21,22}, à análise qualitativa e organoléptica que os filmes possuem um odor característico e predominante aos óleos testados, além de alterações de acordo com as concentrações que os mesmos foram incorporados, conforme Quadro 1.

Quadro 1. Análise organoléptica e qualitativa das características dos biopolímeros de quitosana.

Amostra	Cor	Aspecto	Odor	Homogeneidade
Quitosana pura	Incolor	Textura plástica, parcialmente maleável	Suave	Homogêneo
FQ/TG	Levemente amarelada	Textura sedosa, maleável	Suave	Parcialmente homogêneo
FQ/TG /OEO	Amarelada	Textura sedosa, maleável	Predominante ao óleo de orégano	Parcialmente homogêneo
FT/TG/OEM	Amarelo escuro	Textura sedosa, maleável	Predominante ao óleo de melaleuca	Parcialmente homogêneo
FT/TG/OEO+OEM	Amarelo escuro	Textura sedosa, maleável	Predominante ao óleo de orégano, suave melaleuca	Homogêneo

Legenda: FQ (filme de quitosana pura 1,75%); FQ-TG (Filme de quitosana 1,75%+ Tween 80 + Glicerol); FQ/TG /OEO Filme de quitosana 1,75% + Tween 80 + Glicerol + óleo essencial de orégano 2% (v/v); FQ/TG /OEM Filme de quitosana 1,75% + Tween 80 + Glicerol + óleo essencial de melaleuca 2% (v/v); FQ/TG- OO+ OM (Filme de quitosana 1,75% + Tween 80 + Glicerol + óleo essencial de orégano 1% (v/v) + óleo essencial de melaleuca 1% (v/v).

Mediante os resultados apresentados dos halos de inibição, frente aos microrganismos 20,11 mm *S. aureus* e 16,33 para *E. coli*²³. O óleo essencial de orégano apresentou ação antimicrobiana contra bactérias Gram positivas e Gram negativas, tais como *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*. Nesse sentido, ocorreu o mesmo diante dos resultados da pesquisa, ocorrendo halos de inibição frente às três bactérias testadas²⁴. Os halos de inibição somente a partir de 25% da concentração do óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* com variação dos halos de inibição de 5 a 20 mm para a cepa padrão de *C. albicans*²⁵, conforme Tabela 2.

Tabela 2. Atividade antimicrobiana dos antibióticos do óleo essencial de orégano, das soluções e dos filmes produzidos frente aos microrganismos testados.

	HALO DE INIBIÇÃO (mm)*			
	<i>S. aureus</i>	<i>S. epidermidis</i>	<i>E. coli</i>	<i>C. albicans</i>
CONTROLE				
OEO	IC	IC	31,77 ± 2,76	47,86 ± 1,52
OEM	7,25 ± 0,24	8,6 ± 0,36	7,09 ± 0,26	8,09 ± 0,28
OEO + OEM	7,70 ± 0,27	NA	8,69 ± 0,29	12,28 ± 0,35
Oxacilina	35,0 ± 0,32	32,0 ± 0,16	NA	NA
Cefoxitina	NA	NA	20,0 ± 0,11	NA
Itraconazol	NA	NA	NA	21,5 ± 0,21
SOLUÇÕES/EMULSÕES				
QT Pura	6,0 ± 0,13	5,9 ± 0,08	5,9 ± 0,13	5,8 ± 0,07
QT/TG	6,0 ± 0,11	6,1 ± 0,07	5,8 ± 0,16	5,9 ± 0,12
QT/TG/OEO	9,9 ± 0,86	9,1 ± 0,68	8,5 ± 0,81	10,2 ± 0,37
QT/TG/OEM	IC	8,6 ± 0,36	11,0 ± 0,5	13,6 ± 2,46
QT/TG/OEO+OEM	12,7 ± 0,53	8,1 ± 0,56	10,1 ± 0,46	9,0 ± 0,83
FILME				
QT Pura	ACMAF	ACMAF	ACMAF	ACMAF
QT/TG	ACMAF	ACMAF	ACMAF	ACMAF
QT/TG/OEO	ACMAF	ACMAF	ACMAF	ACMAF

	HALO DE INIBIÇÃO (mm)*			
	<i>S. aureus</i>	<i>S. epidermidis</i>	<i>E. coli</i>	<i>C. albicans</i>
QT/TG/OEM	ACMAF	ACMAF	ACMAF	ACMAF
QT/TG/OEB	ACMAF	ACMAF	ACMAF	ACMAF

* Média e desvio padrão. **Legenda:** ACMAF (Ausência de crescimento microbiano abaixo do filme); IC (Inibição completa); NA (Não se aplica); OEO (Óleo essencial de orégano 2% (v/v); OEM (Óleo essencial de melaleuca 2% (v/v); OEO+OEM (Óleo essencial de orégano 1%(v/v) + melaleuca 1%(v/v); QT (Quitosana); QT/TG (Quitosana 1,75% + Tween 80 + Glicerol); QT/TG/OEO (Quitosana 1,75% + Tween 80 + Glicerol + Óleo essencial de orégano 2% (v/v); QT/TG/OEM (Quitosana 1,75% + Tween 80 + Glicerol + Óleo essencial de melaleuca 2% (v/v); QT/TG/OEO + OEM (Quitosana 1,75% + Tween 80 + Glicerol + Óleo essencial de orégano 1% (v/v) + óleo essencial de melaleuca 1% (v/v).

CONCLUSÃO

Diante do impacto significativo das IRAS, torna-se urgente a busca por novos materiais biodegradáveis que possam atuar como barreiras protetoras eficazes, especialmente em feridas e na inserção de dispositivos médicos como cateteres. Neste contexto, o presente estudo investigou a aplicação de biopolímeros de quitosana associados aos óleos essenciais de *Melaleuca alternifolia* e *Origanum vulgare*, com foco em suas propriedades físico-químicas e atividade antimicrobiana. Os resultados demonstraram que o carvacrol, composto majoritário do óleo essencial de orégano, e o 3-carene, presente no óleo de melaleuca, foram eficazes na inibição dos microrganismos testados, reforçando o potencial desses compostos como agentes terapêuticos naturais.

As análises de FTIR evidenciaram a presença de bandas características da quitosana e de seus aditivos (glicerol e Tween), além de grupamentos funcionais correspondentes aos óleos essenciais utilizados, confirmando a incorporação dos mesmos à matriz polimérica. A avaliação do grau de inchamento demonstrou boa hidrofiliabilidade dos filmes, uma característica desejável para curativos que visam manter o ambiente úmido necessário à cicatrização. Do ponto de vista organoléptico, o óleo de orégano apresentou odor predominante, o que pode ser relevante para a aceitação do produto em sua aplicação clínica.

Este estudo contribui diretamente para a promoção da saúde ao oferecer uma alternativa terapêutica que alia segurança, eficácia e sustentabilidade, ao mesmo tempo em que minimiza o uso desnecessário de antibióticos e, conseqüentemente, o risco de resistência microbiana — um dos maiores desafios da saúde pública contemporânea. O desenvolvimento de curativos com ação antimicrobiana incorporada a partir de compostos naturais representa uma estratégia inovadora e alinhada às diretrizes globais de prevenção de infecções.

Do ponto de vista prático, os biomateriais desenvolvidos mostraram-se promissores para aplicações clínicas diversas, como curativos para feridas agudas e crônicas, revestimentos para cateteres e barreiras protetoras pós-operatórias. A associação de quitosana com óleos essenciais naturais resulta em um produto com propriedades físico-químicas estáveis, atividade antimicrobiana eficaz e menor impacto ambiental, fortalecendo o papel da ciência no desenvolvimento de tecnologias voltadas à saúde, prevenção de infecções e melhoria da qualidade de vida da população.

Portanto, as análises demonstraram a possibilidade em desenvolver um biomaterial à base quitosana associada aos óleos essenciais de orégano e melaleuca que apresente propriedades físico-químicas e potencial efeito inibitório frente bactérias e fungos causadores de IRAS que foram testados, os tornando promissores para a aplicabilidade biomédica.

REFERÊNCIAS

1. Gomes AAG, Da Silva MR, Garcês TC de CS, Pinto ASB, De Andrade SMO, Saraiva ER, et al. Infecções relacionadas à assistência em saúde em unidades de terapia intensiva no Brasil. Rev Eletrônica Acervo Saúde. 2020;12(11):e4665. <https://doi.org/10.25248/reas.e4665.2020>
2. Osme SF, Souza JM, Osme IT, Almeida APS, Arantes A, Mendes-Rodrigues C, et al. Financial impact of healthcare-associated infections on intensive care units estimated for fifty Brazilian university hospitals affiliated to the unified health system. J Hosp Infect. 2021;117:96–102. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2021.08.012>
3. Manoukian S, Stewart S, Graves N, Mason H, Robertson C, Kennedy S, et al. Bed-days and costs associated with the inpatient burden of healthcare-associated infection in the UK. J Hosp Infect. 2021;114:43–50. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.12.027>
4. Bierlaire S, Danhaive O, Carkeek K, Piersigilli F. How to minimize central line-associated bloodstream infections in a neonatal intensive care unit: a quality improvement intervention based on a retrospective analysis and the adoption of an evidence-based bundle. Eur J Pediatr. 2021;180(2):449–60. <https://doi.org/10.1007/s00431-020-03844-95>
5. Gonçalves CDB, Requião-Moura LR, de Menezes FG, Morgado SR, de Rezende MB, Felga GEG, et al. Impacto da implementação de bundles de prevenção de infecções relacionados à assistência à saúde (IRAS) em pacientes submetidos à transplante de fígado: resultados de estudo quase-experimental de centro único brasileiro. Brazilian J Infect Dis. 2022 26:102212. <https://doi.org/10.1016/j.bjid.2021.102212>
6. de Carvalho JF, Ribeiro MFLDS, Skare T. Cannabis therapy in rheumatological diseases: A systematic review. North Clin Istanbul.;11(4):361–6. <https://doi.org/10.14744/nci.2023.43669>
7. Manzoor J, Sharma M. Impact of Biomedical Waste on Environment and Human Health. Environ Claims J. 2019;31(4):311–34. <https://doi.org/10.1080/10406026.2019.1619265>
8. Feng P, Luo Y, Ke C, Qiu H, Wang W, Zhu Y, et al. Chitosan-Based Functional Materials for Skin Wound Repair: Mechanisms and Applications. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. Frontiers Media S.A.; 2021;(9)650598. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.650598>
9. Reis JB, Figueiredo LA, Castorani GM, Veiga SMOM. Avaliação da atividade antimicrobiana dos óleos essenciais contra patógenos alimentares. Brazilian J Heal Rev. 2020;3(1):342–63. <https://doi.org/10.34119/bjhrv3n1-025>
10. Sugawara E, Nikaido H. Properties of AdeABC and AdeIJK efflux systems of *Acinetobacter baumannii* compared with those of the AcrAB-TolC system of *Escherichia coli*. Antimicrob Agents Chemother. 2014;58(12):7250–7. <https://doi.org/10.1128%2FAAC.03728-14>
11. Penteado A, Eschionato R, Souza D, Queiroz S. Atividade do óleo essencial de *Cinnamomum cassia* contra *Staphylococcus aureus*. Hig Aliment. 2021; 2021(02). <https://doi.org/10.37585/HA2021.02atividade>
12. Soares Aguiar V, Montiel Mendes B, Costa Fonseca I, Gabriel de Barros M, Trabachini dos Santos V, Cesar Mendes V. Nanocápsulas de óleo essencial à base de polímero biodegradável. J Innov Sci Res App. 2022;2(1):13. <https://doi.org/10.56509/joins.2022.v2.46>
13. Cristina do Carmo M, Albuquerque Leão K. Análise comparativa da atividade antimicrobiana do óleo essencial de melaleuca (*Melaleuca linariifolia*) obtido de diferentes fornecedores. RECIMA21 - Rev Científica Multidiscip.2024; 5(3): e535018. <https://doi.org/10.47820/recima21.v5i3.5018>
14. Wang L, Liu F, Jiang Y, Chai Z, Li P, Cheng Y, et al. Synergistic antimicrobial activities of natural essential oils with chitosan films. J Agric Food Chem. 2011 Dec 14;59(23):12411–9. <https://doi.org/10.1021/jf203165k>
15. Archana D, Dutta PK, Dutta J. Chitosan: A potential therapeutic dressing material for wound healing. In: Chitin and Chitosan for Regenerative Medicine. Springer India; 2015. p. 193–227. <https://doi.org/10.1007/978-81-322-2511-9>
16. BrCAST-EUCAST. Teste de sensibilidade aos antimicrobianos - Método de disco-difusão BrCAST-EUCAST. BrCast;1–29. <http://brcast.org.br/>
17. Cimanga K, Apers S, De Bruyne T, Van Miert S, Hermans N, Totté J, et al. Chemical composition and antifungal activity of essential oils of some aromatic medicinal plants growing in the Democratic

- Republic of Congo. J Essent Oil Res. 2002;14(5):382–7. <https://doi.org/10.1080/10412905.2002.9699894>
18. Borges AGFC, Pessoa PH, Araújo TL de, Souza KC de, Carneiro CN, Luna PBFG da S de, et al. Preparação e caracterização de filmes de poli(butileno adipato-co-tereftalato) aditivados com óleo essencial de *Melaleuca alternifolia*. Res Soc Dev. 2022; 11(8):e55511831332. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i8.31332>
19. Wang K, Wang Y, Xi X, Lu J, Wang Y, Zhao P, et al. Preparation and characterization of oregano essential oil microcapsules by gelatin/polysaccharide composite coagulation method. Food Bioprod Process. 2024;1;147:495–506. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2024.08.001>
20. Vedovatto S. Desenvolvimento e avaliação da biocompatibilidade de uma matriz compósita de quitosana e colágeno. 2020. Available from: <http://repositorio.ufcspa.edu.br/jspui/handle/123456789/1656>
21. Cho HJ, Cho HK. Central line-associated bloodstream infections in neonates. Vol. 62, Korean Journal of Pediatrics. 2019. p. 79–84. <https://doi.org/10.3345%2Fkjp.2018.07003>
22. dos Santos EP, Nicácio PHM, Barbosa FC, da Silva HN, Andrade ALS, Fook MVL, et al. Chitosan/essential oils formulations for potential use as wound dressing: Physical and antimicrobial properties. Materials (Basel). 2019;12(14). <https://doi.org/10.3390/ma12142223>
23. Hall MC, Martelli E, Meneguzzi C, Zanetti M, Silva LL, Fiori MA, et al. Avaliação da atividade antimicrobiana dos óleos essenciais Nerol e *Melaleuca* puros e microencapsulados. Brazilian J Heal Rev. 2020 May;3(3):5331–45. <https://doi.org/10.34119/bjhrv3n3-097>
24. Soltani S, Shakeri A, Iranshahi M, Boozari M. A review of the phytochemistry and antimicrobial properties of *origanum vulgare* L. And subspecies. Vol. 20, Iranian Journal of Pharmaceutical Research. 2021;20 268–85. <https://doi.org/10.22037%2Fijpr.2020.113874.14539>
25. Savani EC, Salvi CPP, Melo A de, Salvi Júnior A. Avaliação da atividade antifúngica do óleo essencial de *melaleuca alternifolia* cheel sobre isolado clínico de *Candida albicans*. Infarma - Ciências Farm. 2021;33(3):276–82. <https://doi.org/10.14450/2318-9312.v33.e3.a2021.pp276-282>