

# AÇÃO ANTIBACTERIANA DOS ÓLEOS ESSENCIAIS DE SEGURELHA E NOZ MOSCADA SOBRE *LISTERIA MONOCYTOGENES*

Antibacterial action of the savory and nutmeg essential oils on *Listeria monocytogenes*

Bruna Azevedo Balduino<sup>1\*</sup>; Anderson Henrique Venâncio<sup>2</sup>; Fernanda Pereira<sup>3</sup>; Mônica Aparecida da Silva<sup>4</sup>; Michelle Carlota Gonçalves<sup>5</sup>; Monique Suela Silva<sup>6</sup>; Roberta Hilsdorf Piccoli<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Doutoranda do Programa de Pós Graduação em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, Brasil (brunaazevedo.94@hotmail.com).

<sup>2</sup>Doutorando do Programa de Pós Graduação em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, Brasil.

<sup>3</sup>Doutoranda do Programa de Pós Graduação em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, Brasil.

<sup>4</sup>Mestranda do Programa de Pós Graduação em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, Brasil.

<sup>5</sup>Doutoranda do Programa de Pós Graduação em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, Brasil.

<sup>6</sup>Doutoranda do Programa de Pós Graduação em Plantas Medicinais, Aromáticas e Condimentares, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, Brasil.

<sup>7</sup>Professora Titular, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, Brasil.

\* *E-mail*: brunaazevedo.94@hotmail.com

Data do recebimento: 30/06/2023 - Data do aceite: 15/08/2023

**RESUMO:** *Listeria monocytogenes* é uma bactéria capaz de causar listeriose devido à ingestão de alimentos contaminados. A utilização de óleos essenciais (OEs) como antimicrobianos naturais tornou-se uma alternativa promissora aos conservantes sintéticos para evitar a contaminação microbiológica e garantir a segurança dos alimentos. Desse modo, o objetivo deste estudo foi determinar a concentração mínima bactericida (CMB) dos OEs de segurelha e noz moscada sobre *L. monocytogenes* ATCC 19117. Para tanto, a CMB dos

OEs foi determinada pela técnica de microdiluição em caldo em microplacas de poliestireno com 96 cavidades, nas quais foram avaliadas concentrações dos OEs variando de 2 a 0,015% (v/v), seguido de incubação das microplacas a 37°C/24 h. Após esse período, foi realizado o plaqueamento por microgotas em meio TSA acrescido de 0,6% de extrato de levedura, seguido de incubação das placas. A menor concentração do óleo em que não houve crescimento do microrganismo em placa foi denominada CMB. O óleo essencial de semente de melão demonstrou ter atividade bactericida, sendo sua CMB de 1%, enquanto o óleo essencial de noz moscada não foi capaz de inibir o crescimento de *L. monocytogenes*. Pensando-se na aplicação em alimentos ainda é necessário realizar testes com diferentes cepas e verificar a atividade dos OEs em matriz alimentar.

**Palavras-chave:** Antimicrobianos naturais. Patógenos alimentares. Segurança de alimentos.

**ABSTRACT:** *Listeria monocytogenes* is a bacterium capable of causing listeriosis due to ingestion of contaminated food. The use of essential oils (EOs) as natural antimicrobials has become a promising alternative to synthetic preservatives to prevent microbiological contamination and ensure food safety. Thus, the aim of the study was to determine the minimum bactericidal concentration (MBC) of savory and nutmeg EOs on *L. monocytogenes* ATCC 19117. For this purpose, the MBC of the EOs was determined by the broth microdilution technique in polystyrene microplates with 96 wells, in which EOs concentrations ranging from 2 to 0,015% (v/v) were evaluated, followed by incubation of the microplates at 37°C/24 h. After this period, microdroplet plating was performed in TSA medium plus 0,6% yeast extract, followed by incubation of the plates. The lowest concentration of oil in which there was no growth of the microorganism in the plate was called MBC. Savory essential oil showed bactericidal activity, with an MBC of 1%, while nutmeg essential oil was not able to inhibit the growth of *L. monocytogenes*. Thinking about the application in food, it is still necessary to carry out tests with different strains, in addition to verify the activity of the EOs in the food matrix.

**Keywords:** Natural antimicrobials. Foodborne pathogens. Food safety.

## Introdução

*Listeria monocytogenes* é um importante patógeno de origem alimentar capaz de causar listeriose, uma doença potencialmente letal em humanos. Esse microrganismo pode ser encontrado em diversos ambientes como desertos, ambientes agrícolas, ambientes

de produção de alimentos e em produtos alimentícios (DUZE; MARIMANI; PATEL, 2021; KALLIPOLITIS; GAHAN; PIVETE-AU, 2020; TAYLOR; STASIEWICZ, 2019; ZHANG et al., 2021).

Devido à sua capacidade de se adaptar e de suportar condições estressantes, *L. monocytogenes* consegue sobreviver por um longo período de tempo na indústria de alimentos,

onde pode se aderir às superfícies de processamento e formar biofilmes, tornando-se um grande desafio para a indústria alimentícia (AL-NABULSI et al., 2015; COLAGIORGI et al., 2017; KOCOT; OLSZEWSKA, 2017; TAYLOR; STASIEWICZ, 2019).

A principal via de transmissão de *L. monocytogenes* para humanos ocorre devido à contaminação dos alimentos durante qualquer uma das etapas de produção, de processamento e de armazenamento, sendo a carne, os produtos cárneos, os peixes, os leites e seus derivados e, os produtos prontos para consumo, os principais alimentos associados à contaminação por esse microrganismo (CAVALCANTI et al., 2022; DUZE; MARIMANI; PATEL, 2021; WU et al., 2022; ZHANG et al., 2021).

As doenças transmitidas por alimentos tornaram-se um grande problema de saúde pública em todo o mundo. Desse modo, recorre-se ao uso de conservantes como uma forma de controlar a contaminação dos alimentos por microrganismos patogênicos e o desenvolvimento de microrganismos deterioradores, para garantir segurança e maior vida útil dos produtos. Os conservantes podem ser sintéticos ou naturais, mas, nos últimos anos, os consumidores têm demonstrado um maior interesse por alternativas naturais, dentre as quais os óleos essenciais vêm se destacando (MUKURUMBIRA et al., 2022; SHEN et al., 2023; TUREK; STINTSING, 2013; YAMMINE et al., 2022; ZHANG; PIAO, 2023).

Os óleos essenciais são uma mistura de compostos voláteis extraídos de plantas aromáticas e compostos por fitoconstituintes ativos, como terpenos (mono, sesqui e diterpenos), ácidos, álcoois, aldeídos, ésteres, epóxidos, aminas, cetonas e sulfetos que estão relacionados a suas potentes atividades biológicas (HOU et al., 2022; LIANG et al., 2023; MEENU et al., 2023; ZHANG; PIAO, 2023). Dentre essas atividades, são

descritas propriedades antibacterianas, antioxidantes, antifúngicas, anti-inflamatórias, antiparasitárias e antivirais. Desse modo, devido, principalmente, às suas propriedades antimicrobianas e antioxidantes, os óleos essenciais possuem potencial para serem utilizados como conservantes de alimentos (ROUT et al., 2022; VERGIS et al., 2015; ZHANG; PIAO, 2023).

A noz moscada (*Myristica fragrans*) é uma árvore perene nativa das ilhas Molucas, na Indonésia, muito utilizada na medicina tradicional como carminativo, estimulante, narcótico e abortivo, além de ser prescrita para o tratamento de doenças como reumatismo, diarreia, espasmos musculares e redução do apetite. Seu óleo essencial é conhecido por apresentar atividades antioxidante, anti-inflamatória, antimalárica, anticonvulsivante, hepatoprotetora, anticancerígena, antiparasitária, inseticida, nematocida e antimicrobiana (ASGARPANAH; KAZEMIVASH, 2012; ASHOKKUMAR et al., 2022). Seu conteúdo é variável, mas estima-se que mais de 80% do óleo é composto por terpenos (ABOURASHED; EL-ALFY, 2016).

A segurelha (*Satureja montana*) é uma planta aromática consumida mundialmente, sendo suas folhas, caules, flores e sementes tradicionalmente utilizadas, devido a suas propriedades antissépticas, anti-inflamatórias, antioxidantes, analgésicas, antiprotozoária, antiproliferativa, antidiarreica, anticolinesterásica, antinociceptiva e vasodilatadora (SANTOS et al., 2019; VITANZA et al., 2019). Seu óleo essencial é reconhecido por apresentar propriedades biológicas como atividade analgésica, imunomoduladora, anticancerígena, antioxidante, anti-inflamatória e antimicrobiana. Desse modo, por ser considerado uma fonte de substâncias antioxidantes e antimicrobianas naturais, possui potencial para ser utilizado em sistemas alimentares para prevenir o crescimento de bactérias patogênicas e deteriorantes e para reduzir a

oxidação, como forma de manter a segurança e prolongar a vida útil dos alimentos (SER-RANO et al., 2011; VITANZA et al., 2019).

A atividade antimicrobiana dos óleos essenciais de noz moscada e segurelha pode ser observada em alguns trabalhos. Santos et al. (2018) encontraram uma concentração mínima inibitória (CMI) igual a 0,250% para o óleo essencial de noz moscada quando testado contra *Escherichia coli* e *Penicillium commune*. Rezende et al. (2022) demonstraram que o óleo essencial de segurelha foi eficaz contra *E. coli* apresentando concentrações mínimas bactericidas e inibitórias (CMB e CMI) iguais a 0,625%.

Desse modo, conhecendo-se o potencial antimicrobiano das plantas aromáticas estudadas e o potencial dos óleos essenciais para substituir conservantes sintéticos em alimentos, o objetivo deste trabalho foi determinar a concentração mínima bactericida dos óleos essenciais de segurelha e noz moscada sobre *Listeria monocytogenes* ATCC 19117 com o intuito de contribuir para futuras pesquisas no desenvolvimento de antimicrobianos naturais à base de óleos essenciais.

## Material e Métodos

### Local e condução do experimento

O experimento foi realizado no Laboratório de Microbiologia de Alimentos, Departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras – MG, Brasil.

### Óleos essenciais

O óleo essencial de segurelha foi adquirido da empresa Laszlo® e obtido por meio de extração a vapor da erva. Já o óleo essencial de noz moscada foi adquirido da empresa Ferquima® e extraído por meio de destilação a vapor dos frutos.

### Microrganismo, manutenção e padronização do inóculo

A cepa bacteriana utilizada nesse estudo foi *Listeria monocytogenes* ATCC 19117, cedida pelo Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde (INCQS), da Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ) e mantida no laboratório de Microbiologia de Alimentos do Departamento de Ciência dos Alimentos da UFLA.

A cepa de *L. monocytogenes* foi ativada em caldo triptona de soja acrescido de 0,6% (m/v) de extrato de levedura (TSB-YE), seguida de incubação a 37°C por 24 h. A cultura estoque foi obtida por transferências de alíquotas de 1 mL da cultura ativa para microtubos que foram centrifugados a 7700 xg por 5 minutos. Após a centrifugação, o sobrenadante foi descartado e a massa celular obtida foi ressuspensa com adição e homogeneização de 1 mL de meio de congelamento (glicerol: 15 ml; peptona bacteriológica: 0,5 g; extrato de levedura: 0,3 g; NaCl: 0,5 g; água destilada: 100 ml). A cultura estoque foi mantida a -18°C durante o período de execução do experimento.

A padronização do inóculo a 10<sup>8</sup> UFC/mL foi realizada mediante curva de crescimento, na qual o desenvolvimento do microrganismo foi monitorado por leituras periódicas da absorbância (D.O. 600 nm) em espectrofotômetro (BEL SP-2000) e plaqueamento de alíquotas da cultura em ágar triptona de soja acrescido de 0,6% de extrato de levedura (TSA-YE). As placas foram incubadas a 37°C, por 24h, para posterior quantificação das colônias e padronização das culturas.

Os inóculos foram obtidos pela transferência de alíquotas de 1 mL da cultura estoque para tubos de ensaio contendo 10 mL de TSB-YE e incubação a 37°C por 24h. Após esse período, alíquotas de 1 mL das culturas foram transferidas para frascos contendo

100 mL de TSB-YE e incubados a 37°C pelo tempo necessário para atingir 10<sup>8</sup> UFC/mL.

### Determinação da Concentração Mínima Bactericida (CMB)

A concentração mínima bactericida (CMB) foi determinada empregando-se a técnica de microdiluição em caldo (CLSI – CLINICAL AND LABORATORY STANDARDS INSTITUTE, 2019), com adaptações em microplacas de poliestireno com 96 cavidades. Os óleos essenciais de segurelha e noz moscada foram utilizados nas concentrações de 2; 1; 0,5; 0,25; 0,12; 0,06; 0,03; 0,015% (v/v).

Alíquotas de 10 µL da cultura padronizada foram inoculadas nas cavidades das microplacas contendo 150 µL de TSB-YE, acrescidos de 0,5% de Tween 80 e das concentrações dos óleos essenciais. As microplacas foram incubadas a 37°C por 24h. Após esse período, alíquotas de 10 µL das culturas de cada cavidade foram plaqueadas em TSA-YE empregando-se a técnica de plaqueamento em microgotas e incubadas a 37°C por 24h. A menor concentração do óleo em que não houve crescimento do microrganismo na placa foi denominada CMB. O experimento foi realizado com três repetições em triplicata. Foram utilizados um controle negativo, contendo TSB-YE acrescido de 0,5% de Tween 80 e das concentrações dos óleos essenciais e um controle positivo, contendo TSB-YE acrescido de 0,5% de Tween 80 e de 10 µL da cultura padronizada.

## Resultados e Discussão

As concentrações mínimas bactericidas encontradas para os óleos essenciais de segurelha e noz moscada testados sobre *L. monocytogenes* ATCC 19117 podem ser observadas na Tabela I.

**Tabela I.** Concentrações mínimas bactericidas dos óleos essenciais sobre *L. monocytogenes*

| Concentração (%) | Óleos essenciais |             |
|------------------|------------------|-------------|
|                  | Segurelha        | Noz moscada |
| 2                | -                | +           |
| 1                | -                | +           |
| 0,5              | +                | +           |
| 0,25             | +                | +           |
| 0,12             | +                | +           |
| 0,06             | +                | +           |
| 0,03             | +                | +           |
| 0,015            | +                | +           |

(+) Presença de crescimento visível; (-) Ausência de crescimento visível.

Como pode ser observado, o óleo essencial de segurelha apresentou atividade bactericida sobre a cepa de *L. monocytogenes* testada, sendo sua CMB de 1%. Já o óleo essencial de noz moscada, não foi capaz de inibir o crescimento do microrganismo nas concentrações utilizadas, sendo necessário avaliar concentrações mais altas para determinar sua CMB. No entanto, pensando-se na aplicação dos óleos essenciais como conservantes naturais em alimentos, a adição de concentrações muito altas não é recomendada, já que os óleos essenciais possuem forte sabor e odor e podem causar alterações sensoriais indesejáveis no produto (HOU et al., 2022; MUKURUMBIRA et al., 2022).

Nikolic et al. (2021) avaliaram a atividade antimicrobiana do óleo essencial da semente de noz moscada sobre bactérias Gram-positivas, Gram-negativas e fungos e também não observaram atividade antibacteriana do óleo quando testado sobre *L. monocytogenes* ATCC 15313.

Já a atividade antibacteriana do óleo essencial de segurelha tem sido citada em diversos trabalhos. De Oliveira et al. (2011) avaliaram a atividade antimicrobiana do óleo essencial de segurelha contra *Clostridium perfringens* tipo A e observaram uma

concentração mínima inibitória (CMI) de 1,56%, além de demonstrarem por meio de microscopia eletrônica de transmissão que o tratamento com o óleo essencial causou dano estrutural e lise celular de *C. perfringens*. Oussalah et al. (2006) estudaram o mecanismo de ação dos óleos essenciais de orégano espanhol, canela chinesa e segurelha contra *Escherichia coli* O157:H7 e *Listeria monocytogenes* e demonstraram que o tratamento com a CMI dos óleos essenciais afetou significativamente a integridade da membrana celular das bactérias e induziu a depleção da concentração intracelular de ATP.

Vasilijevic et al. (2019) encontraram uma CMB de 1% e uma CMI de 0,5% ao testar o óleo essencial de segurelha contra *L. monocytogenes* ATCC 19111. Já Djenane et al. (2011), avaliaram a atividade antimicrobiana do óleo essencial de segurelha contra *L. monocytogenes* CECT 935 e encontraram uma CMI de 0,03%.

Em seus estudos, Serrano et al. (2011) observaram que o óleo essencial de segurelha apresentou uma atividade antimicrobiana relativamente alta contra sete espécies de bactérias testadas e concluíram que esse óleo é uma fonte de substâncias antibacterianas e antioxidantes naturais com potencial para ser aplicado em alimentos para prevenção do crescimento de bactérias patogênicas e deterioradoras, além de evitar a oxidação e prolongar a vida útil dos alimentos.

A ação antimicrobiana dos óleos essenciais está relacionada a várias alterações que ocorrem em toda a célula, como alteração do perfil de ácidos graxos e da estrutura da membrana celular, aumento da permeabilidade, extravasamento do conteúdo celular, danos às proteínas de membrana, coagulação do citoplasma, inibição da funcionalidade da parede celular, inibição da formação de biofilmes, depleção da força próton motriz e inibição do fluxo de elétrons e síntese de

ATP (YAMMINE et al., 2022; ZHANG; PIAO, 2023).

No entanto, diversos fatores podem afetar a eficiência dos óleos essenciais, como o método de extração do óleo, a identificação e quantificação dos constituintes químicos, microrganismo alvo e a interação com a matriz alimentar (DA SILVA et al., 2021). Desse modo, a atividade antimicrobiana varia de um óleo para outro.

Pensando-se na composição química, de acordo com o laudo técnico fornecido pela Ferquima®, os principais componentes encontrados no óleo essencial de noz moscada são sabineno (25%),  $\alpha$ -pineno (22%),  $\beta$ -pineno (14%), miristicina (9%), terpinen-4-ol (4%), limoneno (4%) e  $\gamma$ -terpineno (3%). Kiarsi et al. (2020) também encontraram como principais constituintes do óleo essencial de noz moscada  $\alpha$ -pineno (20,16%), sabineno (14,45%) e  $\beta$ -pineno (13,26%). De acordo com Hyldgaard et al. (2012), os terpenos como sabineno,  $\alpha$ -pineno,  $\beta$ -pineno e limoneno não apresentam atividade antimicrobiana elevada.

Já para o óleo essencial de segurelha, segundo informações da empresa Laszlo®, os principais compostos são timol (20-40%), carvacrol (10-25%),  $p$ -cimeno (10-12%),  $\gamma$ -terpineno (5-8%), 1,8-cineol (1-2%) e  $\alpha$ -humuleno (1-3%). Esses dados são semelhantes aos de Stoilova et al. (2008), que encontraram o carvacrol (41,5%),  $p$ -cimeno (11%), timol (8,6%),  $\gamma$ -terpineno (6,2%) e  $\beta$ -cariofileno (4,1%) como componentes principais do óleo essencial de segurelha.

A potente atividade antimicrobiana do óleo essencial de segurelha observada em diferentes trabalhos pode estar relacionada ao seu composto carvacrol, um monoterpênóide fenólico presente em vários óleos essenciais e encontrado nas plantas junto de seu isômero timol. É relatado que o carvacrol possui uma forte atividade antimicrobiana contra diferen-

tes cepas de bactérias e fungos patogênicos aos humanos e que seu mecanismo de ação antimicrobiana está relacionado a alterações na permeabilidade da membrana celular, que levam ao extravasamento de proteínas e ácidos nucleicos e resultam na morte da célula (Macza et al., 2023).

Portanto, como visto neste e em outros trabalhos, o óleo essencial de segurelha possui atividade antibacteriana contra *Listeria monocytogenes*, podendo ser utilizado em pesquisas futuras para o desenvolvimento de um conservante natural. Mas, pensando-se na aplicação em alimentos é necessário testar o óleo essencial sobre diferentes cepas de microrganismos, além de avaliar sua eficiência em algum produto alimentício, já que a matriz alimentar pode interferir no mecanismo de ação dos óleos essenciais.

## Considerações finais

O óleo essencial de segurelha apresentou efeito bactericida sobre *Listeria monocytogenes* ATCC 19117 com uma CMB de 1% que, comparada aos resultados encontrados em outros trabalhos, pode ser considerada como uma CMB média, sendo uma alternativa promissora para ser utilizado como um conservante natural em alimentos. Já o óleo essencial de noz moscada não apresentou atividade antimicrobiana nas concentrações utilizadas neste estudo, sendo necessária a realização de mais testes com diferentes concentrações para verificar sua possível atividade bactericida sobre *L. monocytogenes*.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Universidade Federal de Lavras (UFLA) e das agências CAPES, FAPEMIG e CNPq.

## REFERÊNCIAS

- ABOURASHED, E. A.; EL-ALFY, A. T. Chemical diversity and pharmacological significance of the secondary metabolites of nutmeg (*Myristica fragrans* Houtt.). **Phytochemistry Reviews**, v. 15, p. 1035-1056, 2016.
- AL-NABULSI, A. A.; OSAILI, T. M.; SHAKER, R. R.; OLAIMAT, A. N.; JARADAT, Z. W.; ELABEDEEN, N. A. Z.; HOLLEY, R. A. Effects of osmotic pressure, acid, or cold stresses on antibiotic susceptibility of *Listeria monocytogenes*. **Food Microbiology**, v. 46, p. 154-160, 2015.
- ASGARPANA, J.; KAZEMIVASH, N. Phytochemistry and pharmacologic properties of *Myristica fragrans* Hoyutt: A review. **African Journal of Biotechnology**, v. 11, n. 65, p. 12787-12793, 2012.
- ASHOKKUMAR, K.; SIMAL-GANDARA, J.; MURUGAN, M.; DHANYA, M. K.; PANDIAN, A. Nutmeg (*Myristica fragrans* Houtt.) essential oil: A review on its composition, biological, and pharmacological activities. **Phytotherapy Research**, v. 36, n. 7, p. 2839-2851, 2022.
- CAVALCANTI, A. A. C.; LIMEIRA, C. H.; DE SIQUEIRA, I. N.; DE LIMA, A. C.; DE MEDEIROS, F. J. P.; DE SOUZA, J. G.; MEDEIROS, N. G. D. A.; FILHO, A. A. D. O.; DE MELO, M. A. The prevalence of *Listeria monocytogenes* in meat products in Brazil: A systematic literature review and meta-analysis. **Research in Veterinary Science**, v. 145, p. 169-176, 2022.

- CLSI - CLINICAL AND LABORATORY STANDARDS INSTITUTE. **Methods for antimicrobial susceptibility of anaerobic bacteria**. 9th ed. Wayne: CLSI document M100, 2019.
- COLAGIORGI, A.; BRUINI, I.; DI CICCIO, P. A.; ZANARDI, E.; GHIDINI, S.; IANIERI, A. *Listeria monocytogenes* biofilms in the wonderland of food industry. **Pathogens**, v. 6, n. 3, p. 41, 2017.
- DA SILVA, B. D.; BERNARDES, P. C.; PINHEIRO, P. F.; FANTUZZI, E.; ROBERTO C. D. Chemical composition, extraction sources and action mechanisms of essential oils: Natural preservative and limitations of use in meat products. **Meat Science**, v. 176, p. 108463, 2021.
- DE OLIVEIRA, T. L. C.; SOARES, R. D. A.; RAMOS, E. M.; CARDOSO, M. D. G.; ALVES, E.; PICCOLI, R. H. Antimicrobial activity of *Satureja montana* L. essential oil against *Clostridium perfringens* type A inoculated in mortadella-type sausages formulated with different levels of sodium nitrite. **International Journal of Food Microbiology**, v. 144, n. 3, p. 546-555, 2011.
- DJENANE, D.; YANGUELA, J.; MONTANÉS, L.; DJERBAL, M.; RONCALÉS, P. Antimicrobial activity of *Pistacia lentiscus* and *Satureja montana* essential oils against *Listeria monocytogenes* CECT 935 using laboratory media: Efficacy and synergistic potential in minced beef. **Food Control**, v. 22, n. 7, p. 1046-1053, 2011.
- DUZE, S. T.; MARIMANI, M.; PATEL, M. Tolerance of *Listeria monocytogenes* to biocides used in food processing environments. **Food Microbiology**, v. 97, 2021.
- HOU, T.; SANA, S. S.; LI, H.; XING, Y.; NANDA, A.; NETALA, V. R.; ZHANG, Z. Essential oils and its antibacterial, antifungal and anti-oxidant activity applications: A review. **Food Bioscience**, v. 47, 2022.
- HYLDGAARD, M.; MYGIND, T.; MEYER, R. L. Essential oils in food preservation: mode of action, synergies, and interactions with food matrix components. **Frontiers in Microbiology**, v. 3, n. 12, 2012.
- KALLIPOLITIS, B.; GAHAN, C. G. M.; PIVETEAU, P. Factors contributing to *Listeria monocytogenes* transmission and impact on food safety. **Current Opinion in Food Science**, v. 36, p. 9-17, 2020.
- KIARSI, Z.; BEHBAHANI, B. A.; NOSHAD, M. In vitro antimicrobial effects of *Myristica fragrans* essential oil on foodborne pathogens and its influence on beef quality during refrigerated storage. **Journal of Food Safety**, v. 40, n. 3, 2020.
- KOCOT, A. M.; OLSZEWSKA, M. A. Biofilm formation and microscopic analysis of biofilms formed by *Listeria monocytogenes* in a food processing context. **LWT**, v. 84, p. 47-57, 2017.
- LIANG, J.; ZHANG, Y.; CHI, P.; LIU, H.; JING, Z.; CAO, H.; DU, Y.; ZHAO, Y.; QIN, X.; ZHANG, W.; KONG, D. Essential oils: chemical constituents, potential neuropharmacological effects and aromatherapy—a review. **Pharmacological Research-Modern Chinese Medicine**, v. 6, 2023.
- MAĆZKA, W.; TWARDAWSKA, M.; GRABARCZYK, M.; WIŃSKA, K. Carvacrol—A natural phenolic compound with antimicrobial properties. **Antibiotics**, v. 12, n. 5, 2023.
- MEENU, M.; PADHAN, B.; PATEL, M.; PATEL, R.; XU, B. Antibacterial activity of essential oils from different parts of plants against *Salmonella* and *Listeria* spp. **Food Chemistry**, v. 404, 2023.
- MUKURUMBIRA, A. R.; SHELLIE, R. A.; KEAST, R.; PALOMBO, E. A.; JADHAV, S. R. Encapsulation of essential oils and their application in antimicrobial active packaging. **Food Control**, v. 136, 2022.
- NIKOLIC, V.; NIKOLIC, L.; DINIC, A.; GAJIC, I.; UROSEVIC, M.; STANOJEVIC, L.; STANOJEVIC, J.; DANILOVIC, B. Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activity of



- nutmeg (*Myristica fragrans* Houtt.) seed essential oil. **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, v. 24, n. 2, p. 218-227, 2021.
- OUSSALAH, M.; CAILLET, S.; LACROIX, M. Mechanism of action of Spanish oregano, Chinese cinnamon, and savory essential oils against cell membranes and walls of *Escherichia coli* O157: H7 and *Listeria monocytogenes*. **Journal of Food Protection**, v. 69, n. 5, p. 1046-1055, 2006.
- REZENDE, D. A. D. C. S.; OLIVEIRA, C. D.; BATISTA, L. R.; FERREIRA, V. R. F.; BRANDÃO, R. M.; CAETANO, A. R. S.; ALVES, M. V. P.; CARDOSO, M. D. G. Bactericidal and antioxidant effects of essential oils from *Satureja montana* L., *Myristica fragrans* H. and *Cymbopogon flexuosus*. **Letters in Applied Microbiology**, v. 74, n. 5, p. 741-751, 2022.
- ROUT, S.; TAMBE, S.; DESHMUKH, R. K.; MALI, S.; CRUZ, J.; SRIVASTAV, P. P.; AMIN, P. D.; GAIKWAD, K. K.; ANDRADE, E. H. D. A.; DE OLIVEIRA, M. S. Recent trends in the application of essential oils: The next generation of food preservation and food packaging. **Trends in Food Science & Technology**, v. 129, p. 421-439, 2022.
- SANTOS, J. D. C.; COELHO, E.; SILVA, R.; PASSOS, C. P.; TEIXEIRA, P.; HENRIQUES, I.; COIMBRA, M. A. Chemical composition and antimicrobial activity of *Satureja montana* byproducts essential oils. **Industrial Crops and Products**, v. 137, p. 541-548, 2019.
- SANTOS, S. M.; MALPASS, G. R. P.; OKURA, M. H.; GRANATO, A. C. Edible active coatings incorporated with *Cinnamomum cassia* and *Myristica fragrans* essential oils to improve shelf-life of minimally processed apples. **Ciência Rural**, v. 48, n. 12, p. 1-8, 2018.
- SERRANO, C.; MATOS, O.; TEIXEIRA, B.; RAMOS, C.; NENG, N.; NOGUEIRA, J.; NUNES, M. L.; MARQUES, A. Antioxidant and antimicrobial activity of *Satureja montana* L. extracts. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 91, n. 9, p. 1554-1560, 2011.
- SHEN, C.; CHEN, W.; LI, C.; AZIZ, T.; CUI, H.; LIN, L. Topical advances of edible coating based on the nanoemulsions encapsulated with plant essential oils for foodborne pathogen control. **Food Control**, v. 145, 2023.
- STOILOVA, I.; BAIL, S.; BUCHBAUER, G.; KRASTANOV, A.; STOYANOVA, A.; SCHMIDT, E.; JIROVETZ, L. Chemical composition, olfactory evaluation and antioxidant effects of the essential oil of *Satureja montana* L. **Natural Product Communications**, v. 3, n. 7, p. 1035-1042, 2008.
- TAYLOR, A. J.; STASIEWICZ, M. J. Persistent and sporadic *Listeria monocytogenes* strains do not differ when growing at 37 °C, in planktonic state, under different food associated stresses or energy sources. **BMC Microbiology**, v. 19, n. 257, p. 1-13, 2019.
- TUREK, C.; STINTZING, F. C. Stability of essential oils: a review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 12, n. 1, p. 40-53, 2013.
- VASILJEVIĆ, B.; MITIĆ-ĆULAFIĆ, D.; DJEKIĆ I.; MARKOVIĆ, T.; KNEZEVIĆ-VUKCEVIĆ, J.; TOMASEVIC, I.; VELEBIT, B.; NIKOLIĆ, B. Antibacterial effect of *Juniperus communis* and *Satureja montana* essential oils against *Listeria monocytogenes* in vitro and in wine marinated beef. **Food Control**, v. 100, p. 247-256, 2019.
- VERGIS, J.; GOKULAKRISHNAN, P.; AGARWAL, R. K.; KUMAR, A. Essential oils as natural food antimicrobial agents: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 55, n. 10, p. 1320-1323, 2015.
- VITANZA, L.; MACCELLI, A.; MARAZZATO, M.; SCAZZOCCHIO, F.; COMANDUCCI, A.; FORNARINI, S.; CRESTONI, M. E.; FILIPPI, A.; FRASCHETTI, C.; RINALDI, F.; ALEANDRI, M.; GOLDONI, P.; CONTE, M. P.; AMMENDOLIA, M. G.; LONGHI, C. *Satureja montana* L. essential oil and its antimicrobial activity alone or in combination with gentamicin. **Microbial Pathogenesis**, v. 126, p. 323-331, 2019.

WU, M.; DONG, Q.; MA, Y.; YANG, S.; ASLAM, M. Z.; LIU, Y.; LI, Z. Potential antimicrobial activities of probiotics and their derivatives against *Listeria monocytogenes* in food field: A review. **Food Research International**, v. 160, 2022.

YAMMINE, J.; CHIHIB, N.E.; GHARSALLAOUI, A.; DUMAS, E.; ISMAIL, A.; KARAM, L. Essential oils and their active components applied as: free, encapsulated and in hurdle technology to fight microbial contaminations. A review. **Heliyon**, v. 8, n. 12, 2022.

ZHANG, L.; PIAO, X. Use of aromatic plant-derived essential oils in meat and derived products: Phytochemical compositions, functional properties, and encapsulation. **Food Bioscience**, v. 53, 2023.

ZHANG, X.; WANG, S.; CHEN, X.; QU, C. Review controlling *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat meat and poultry products: An overview of outbreaks, current legislations, challenges, and future prospects. **Trends in Food Science & Technology**, v. 116, p. 24-35, 2021.