www.revistaft.com.br

Revista FT | ISSN 1678-0817 | v. 30, n. 164, 2026 | DOI: 10.69849/m9nq4q18

Tratamento de salmonelose com óleos essenciais – associação de óleos essenciais com antibióticos convencionais uma revisão de sistemática

Treatment of salmonellosis with essential oils: combining essential oils with conventional antibiotics – a systematic review

Amanda Aparecida Da Mota

Waleska Lazaretti

RESUMO

Introdução: A salmonelose, causada principalmente por *Salmonella Enteritidis*, representa um grave problema de saúde pública global, com estimativa de 93,8 milhões de casos anuais. O tratamento convencional baseado em antibióticos como ciprofloxacino e ceftriaxona tem sido comprometido pelo surgimento de cepas multirresistentes (MDR), além da capacidade da bactéria de formar biofilmes, que conferem proteção contra agentes antimicrobianos. **Objetivo:** Avaliar o efeito antimicrobiano da associação de óleos essenciais (canela, cravo, tomilho e orégano) com antibióticos convencionais (ciprofloxacino e ceftriaxona) sobre cepas de *Salmonella Enteritidis* multirresistentes, investigando a atividade antibacteriana, a inibição da formação de biofilme e a modulação da resistência antimicrobiana. **Metodologia:** Trata-se de uma revisão integrativa de literatura, com abordagem quantitativa descritiva, baseada em buscas sistemáticas nas bases de dados PubMed, Web of Science, Science Direct, SciELO e Google Acadêmico, utilizando descritores como "óleos essenciais", "Salmonella", "antibióticos convencionais" e "combinação". Serão incluídos artigos publicados entre 2021 e 2026, nos idiomas português e inglês, que abordem a atividade antimicrobiana dos óleos essenciais contra *Salmonella*. **Resultados esperados:** Espera-se que os óleos essenciais apresentem atividade antibacteriana significativa (CIM e CBM entre 0,1 a 5 µL/mL) e que a associação com antibióticos produza efeito sinérgico (FIC ≤ 0,5), permitindo redução das doses terapêuticas, inibição superior a 80% da formação de biofilme e modulação do fenótipo MDR. **Conclusão:** A associação de óleos essenciais com antibióticos convencionais surge como estratégia promissora para o controle da salmonelose, alinhada ao conceito de Saúde Única, embora sejam necessários mais estudos para validação clínica.

Palavras-chave: *Salmonella Enteritidis;* Óleos essenciais; Tratamento; Antibióticos convencionais.

ABSTRACT

Introduction: Salmonellosis, mainly caused by *Salmonella Enteritidis*, represents a serious global public health problem, with an estimated 93.8 million annual cases. Conventional treatment based on antibiotics such as ciprofloxacin and ceftriaxone has been compromised by the emergence of multidrug-resistant (MDR) strains, in addition to the bacterium's ability to form biofilms, which confer protection against antimicrobial agents. **Objective:** To evaluate the antimicrobial effect of the association of essential oils (cinnamon, clove, thyme, and oregano) with conventional antibiotics (ciprofloxacin and ceftriaxone) on multidrug-resistant *Salmonella Enteritidis* strains, investigating antibacterial activity, inhibition of biofilm formation, and modulation of antimicrobial resistance. **Methodology:** This is an integrative literature review with a descriptive quantitative approach, based on systematic searches in the PubMed, Web of Science, Science Direct, SciELO, and Google Scholar databases, using descriptors such as "essential oils," "Salmonella," "conventional antibiotics," and "combination." Articles published between 2021 and 2026, in Portuguese and English, addressing the antimicrobial activity of essential oils against *Salmonella* will be included. **Expected results:** Essential oils are expected to present significant antibacterial activity (MIC and MBC between 0.1 to 5 µL/mL) and the association with antibiotics is expected to produce a synergistic effect (FIC ≤ 0.5), allowing reduction of therapeutic doses, inhibition of biofilm formation above 80%, and modulation of the MDR phenotype. **Conclusion:** The association of essential oils with conventional antibiotics emerges as a promising strategy for salmonellosis control, aligned with the One Health concept, although further studies are needed for clinical validation.
Keywords: *Salmonella Enteritidis*. Essential oils. Treatment. Conventional antibiotics. Synergism.

1 INTRODUÇÃO

A *Salmonella* de sorotipo *Enteritidis* é uma bactéria Gram-negativa, intracelular facultativa, pertencente à família Enterobacteriaceae, reconhecida mundialmente (Prado *et al.*, 2023). Estima-se que esse sorotipo seja responsável por aproximadamente 93,8 milhões de casos de Salmonelose não tifoide anualmente em todo o mundo, com manifestações clínicas que variam desde gastroenterite leve até quadros graves como bacteremia e morte (Ramos *et al.*, 2026)

A cadeia alimentar representa a principal via de transmissão ao ser humano, em carnes de frango, bovina e suína, além de ovos e laticínios, os veículos mais frequentemente implicados em surtos (Alibi et al., 2022). No ambiente de

processamento de alimentos, a capacidade do microrganismo se aderir a superfícies abióticas (aço inoxidável, plástico, vidro) e bióticas (células epiteliais) e formar biofilmes permitindo que cresça em ambientes hostis formando agrupamentos estruturados e que aderente à superfície. Envolvidas por uma matriz polimérica extracelular autoproduzida, constitui um desafio adicional para a indústria, uma vez que essa estrutura protege as bactérias contra agentes de saneamento e favorece a contaminação cruzada. Além de que, a expressão de sistemas quorum sensing (QS) de comunicação celular dependente de densidade populacional, regula a formação de biofilme, motilidade e a liberação de fatores de virulência, agravando sua persistência em alimentos e superfícies (Ramos et al., 2026).

O tratamento da Salmonelose baseia-se tradicionalmente no uso de antibióticos como fluoroquinolonas (ciprofloxacino) e cefalosporinas de terceira geração (ceftriaxona). No entanto, o uso indiscriminado destes fármacos na medicina humana e na produção animal tem descoberto e selecionado cepas multirresistentes (MDR), limitando a eficácia terapêutica e tornando urgente a busca por novas abordagens para o controle da infecção. Além disso, a capacidade de *Salmonella Enteritidis* de formar biofilmes em superfícies de equipamentos e alimentos contribui para sua persistência no ambiente de processamento e aumenta significativamente sua resistência a desinfetantes convencionais e antibióticos (Vidaković Knežević *et al.*, 2025).

Os óleos essenciais são compostos derivados de plantas, atualmente estudados pelas suas diversas propriedades, incluindo sua atividade antimicrobianas contra cepas de patógenos multirresistentes (Consentino *et al.,* 1999; Burt, 2004; Erkan *et al.*, 2008; Teixeira *et al.*, 2013; Pinto, F. G. S. *et al,* 2025).

Nesse contexto, os óleos essenciais extraídos de plantas como canela, cravo, tomilho, orégano, têm despertado interesse por suas comprovadas atividades antibacteriana, antibiofilme e *anti-quorum sensing*, atuando por meio da desestabilização da membrana celular, inibição da formação de biofilme e interferência na comunicação bacteriana. Estudos têm demonstrado que esses óleos essenciais apresentam atividade contra cepas de *Salmonella*, incluindo isolados multirresistentes, com valores promissores de concentração inibitória mínima (CIM) e concentração bactericida mínima (Alibi *et al.*, 2022; Vidaković Knežević *et al.*, 2025; Lima *et al.*, 2025).

Apesar do expressivo número de pesquisas sobre a atividade isolada dos

óleos essenciais, ainda são escassos os estudos que avaliam o efeito da associação de óleos essenciais com antibióticos convencionais como estratégia para potencializar o efeito antimicrobiano, reduzir as doses necessárias e minimizar a pressão seletiva para o surgimento de novas cepas resistentes. A resistência bacteriana a antimicrobianos tem se tornado um dos maiores desafios da saúde pública global, limitando as opções terapêuticas para o tratamento de infecções causadas por patógenos de origem alimentar, como *Salmonella.* Os óleos essenciais extraídos de plantas medicinais têm demonstrado notável atividade antibacteriana, antibiofilme e anti-*quorum sensing*, atuando por múltiplos mecanismos que dificultam o desenvolvimento de resistência. Paralelamente, a associação de óleos essenciais com antibióticos convencionais surge como uma estratégia promissora para potencializar o efeito antimicrobiano, reduzir doses e minimizar efeitos tóxicos. Lamichhane *et al.* (2024); Alibi *et al.* (2022); Vidaković Knežević *et al.* (2025). Sendo assim, o presente tema versa sobre: “Avaliação da atividade antibacteriana da associação de óleos essenciais (canela, cravo, tomilho e orégano) com antibióticos convencionais (ciprofloxacino e ceftriaxona) sobre cepas de *Salmonella* multirresistentes”.

1.2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar o efeito antimicrobiano da associação de óleos essenciais de canela, cravo, tomilho e orégano com os antibióticos convencionais ciprofloxacino e ceftriaxona frente a cepas multirresistentes de Salmonella Enteritidis, investigando a atividade antibacteriana, a inibição da formação de biofilme e possíveis interações na resposta aos antimicrobianos.

A pesquisa justifica-se pela crescente preocupação com a resistência antimicrobiana e pela necessidade de desenvolver estratégias alternativas para o controle de infecções causadas por Salmonella Enteritidis multirresistente. Nesse contexto, os óleos essenciais apresentam potencial antimicrobiano devido à sua composição química e à atuação por diferentes mecanismos, incluindo alterações na membrana bacteriana e possível interferência na formação de biofilmes.

Do ponto de vista científico, o estudo poderá ampliar o conhecimento sobre a associação entre produtos naturais e antibióticos convencionais. Na perspectiva prática, a identificação de possíveis efeitos sinérgicos poderá contribuir para futuras

estratégias de controle bacteriano, com potencial de otimizar o uso de antimicrobianos e reduzir a pressão seletiva associada à resistência.

Além disso, a pesquisa está alinhada ao conceito de Saúde Única (One Health), considerando a importância do enfrentamento da resistência antimicrobiana nas interfaces entre saúde humana, animal e ambiental.

2 REFERENCIAIS TEÓRICOS

2.1 SALMONELOSE E ÓLEOS ESSENCIAIS: EPIDEMIOLOGIA, PATOGÊNESE, RESISTÊNCIA ANTIMICROBIANA E PERSPECTIVAS TERAPÊUTICAS

A Salmonelose constitui uma das doenças de origem alimentar mais prevalentes em escala global, representando um sério problema de saúde pública e acarretando impactos econômicos significativos para os setores de saúde e agricultura. A Organização Mundial da Saúde (OMS) classifica Salmonella como uma das quatro causas mais importantes de diarreia mundialmente, enquanto os Centros de Controle e Prevenção de Doenças (CDC) estimam aproximadamente 1,35 milhão de casos anuais nos Estados Unidos, com cerca de 420 mortes. Em âmbito global, estima-se que ocorram entre 200 milhões e 1 bilhão de casos de infecção por Salmonella por ano, com 93 milhões de casos de gastroenterite e 155.000 mortes, dos quais aproximadamente 85% estão associados ao consumo de alimentos contaminados (Lamichhane et al. 2024); (OMS, 2024).

A transmissão de *Salmonella* para humanos ocorre através do contínuo da fazenda à mesa (*farm-to-fork*), estando comumente ligada ao consumo de produtos de origem animal contaminados, com destaque para aves e produtos avícolas, seguidos por carne bovina, suína, peixe e alimentos não derivados de animais, como frutas e vegetais. Estudos indicam que mais de 52% das infecções por *Salmonella* em aves são causadas por *S*. Enteritidis, tornando-o um dos sorotipos mais prevalentes nos Estados Unidos. Na Europa, *S*. Enteritidis também figura como o sorovar mais comum, seguido por *S*. Typhimurium (Vieira, T. R. S. *et al.* 2022.)

A patogênese da infecção por *Salmonella* tem início com a adesão da bactéria à superfície da célula hospedeira, seguida pela internalização, que ocorre por fagocitose ou por invasão ativa de células fagocíticas e não fagocíticas. Este

processo envolve o reconhecimento de padrões moleculares associados a patógenos (PAMPs), como lipopolissacarídeos (LPS) e flagelina, por receptores do tipo Toll (TLRs) e outros receptores citotóxicos. Dentre os principais fatores de virulência descritos, destacam-se os plasmídeos de virulência, que abrigam genes relacionados à resistência a antibióticos e fatores de virulência, como *spvB* (toxina ADP-ribosilante) e *spvC* (inibe a piroptose e a inflamação), sendo essenciais para o desenvolvimento da doença sistêmica no hospedeiro. Os sistemas de secreção tipo III (T3SS) são codificados por duas ilhas de patogenicidade distintas, SPI-1 e SPI-2, onde a SPI-1 codifica o T3SS1, que desempenha papel crucial na invasão de epitélios não fagocíticos, enquanto a SPI-2 codifica as proteínas efetoras do T3SS2, que regulam a dinâmica das membranas do vacúolo contendo *Salmonella* (SCV) e modulam as respostas imunes do hospedeiro. As fímbrias, especialmente as do tipo 1 (T1F), são estruturas adesivas compostas pela proteína fimA e pela proteína adesiva fimH, que se liga a glicoproteínas com resíduos terminais de manose. Os flagelos, por sua vez, participam da adesão, invasão, exportação de proteínas e formação de biofilme (Vieira, T. R. S. *et al.* 2022.)

A formação de biofilme é um dos principais determinantes da virulência e persistência de *Salmonella* Enteritidis em ambientes de processamento de alimentos. O biofilme é uma matriz polimérica caracterizada pela expressão de fímbrias curli e celulose, que confere proteção contra estressores ambientais, desinfetantes e antibióticos. A formação do biofilme é regulada pelo gene *csgD*, pertencente ao grupo LuxR, cuja expressão é controlada por sinais ambientais e fatores de transcrição como c-di-GMP e sRNAs (González, J. F. *et al,* 2024).

O tratamento da salmonelose baseia-se tradicionalmente no uso de antibióticos como fluoroquinolonas (ciprofloxacino e ofloxacino) e cefalosporinas de terceira geração (ceftriaxona). No entanto, o uso indiscriminado desses fármacos na medicina humana e na produção animal tem selecionado cepas multirresistentes (MDR), limitando a eficácia terapêutica. Estudos têm demonstrado perfis preocupantes de resistência, sendo relatado que 30,9% das cepas de *Salmonella* isoladas de granjas de frangos de corte exibiram resistência à estreptomicina, com 13,9% resistentes à tetraciclina, 12,6% à gentamicina e 8,6% ao sulfametoxazol-trimetoprim. Além disso, níveis substanciais de resistência foram observados para ceftriaxona (75%) e ceftiofur (44%). Cepas de *Salmonella* isoladas de carne de frango também apresentaram resistência a rifampicina, tetraciclina e

oxiclozanida Lamichhane *et al.*, (2024); Vidakovic Knežević *et al.* (2025) também identificaram perfis de resistência variáveis entre isolados de *S*. Enteritidis provenientes de carne de frango, com diferentes Concentrações Bactericidas Mínimas (CBM) para os óleos essenciais testados.

Diante desse cenário de crescente resistência antimicrobiana, os óleos essenciais emergem como promissores agentes antimicrobianos naturais. Os óleos essenciais são extratos hidrofóbicos ricos em metabólitos secundários de plantas, com propriedades antimicrobianas, antioxidantes, anticancerígenas, antidiabéticas e repelentes de insetos. Eles são derivados de diversas partes de plantas, incluindo caules, flores, frutos, botões, folhas e madeira. Os óleos essencias de canela (*Cinnamomum cassia*), hortelã (*Mentha arvensis*), orégano (*Origanum vulgare*), cravo (*Syzygium aromaticum*), tomilho (*Thymus vulgaris*) e alecrim (*Rosmarinus officinalis*) têm demonstrado atividade contra patógenos de origem alimentar, incluindo *Salmonella.* Vepstaite-monstavice *et al,* (2023); Lamichhane *et a.,* (2024) Alibi *et al.,* (2022); Vidaković Knežević *et al.* (2025); Lima *et al.,* (2025).

A atividade antibacteriana dos óleos essenciais está diretamente relacionada à sua composição química, que varia conforme a espécie vegetal, local de cultivo, época de coleta, método de extração e parte da planta utilizada em Lima *et al.,* (2025). A segurança dos óleos essenciais é um fator crucial para sua aplicação terapêutica ou como conservante de alimentos. Lima *et al.* (2025) avaliaram a citotoxicidade dos óleos essenciais de *A. conyzoides* em células de macrófagos murinos RAW 264.7 nas concentrações de 15,62 a 1000 µg/mL e não observaram redução significativa da viabilidade celular, indicando um perfil de segurança favorável. No entanto, outros autores alertam para possíveis efeitos tóxicos de óleos essenciais em altas concentrações. Alibi *et al.* (2022) mencionam que o eugenol, principal composto do OE de cravo, é hepatotóxico e que pequenas quantidades de óleo de cravo podem levar a insuficiência hepática quase fatal em crianças. Lamichhane et al. (2024) também citam relatos de neurotoxicidade e convulsões tônico-clônicas em humanos associadas ao uso de extratos comerciais de sálvia, hissopo, thuja e cedro, além de dermatites e hospitalizações após aromaterapia com lavanda, hortelã-pimenta e ylang-ylang. O uso de óleos essenciais deve, portanto, considerar a dose, a via de administração e a possível toxicidade crônica.

Apesar do expressivo número de estudos demonstrando a atividade antibacteriana, antibiofilme e anti-QS dos óleos essenciais

contra *Salmonella Enteritidis* MDR, nenhum dos artigos revisados avaliou o efeito sinérgico da associação de óleos essenciais com antibióticos convencionais (como ciprofloxacino, ceftriaxona ou gentamicina). Lamichhane *et al*. (2024) destacam que a combinação de óleos essenciais com antibióticos pode ter efeitos sinérgicos *in vitro*, como relatado para óleos de canela com cefotaxima, mas não há estudos específicos com os óleos essenciais e antibióticos propostos neste trabalho contra cepas de *Salmonella* Enteritidis. Esta é uma lacuna importante, pois a associação de óleos essenciais com antibióticos pode potencializar o efeito antimicrobiano, reduzir as doses necessárias de ambos os agentes, minimizar efeitos tóxicos e diminuir a pressão seletiva para o surgimento de novas cepas resistentes Lamichhane *et al*. (2024) Além disso, a literatura carece de estudos que avaliem o índice de concentração inibitória fracionária (FIC) para essas combinações contra cepas de *Salmonella* isoladas de alimentos ou de origem clínica.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o efeito antimicrobiano da associação de óleos essenciais (canela, cravo, tomilho e orégano) com antibióticos convencionais (ciprofloxacino e ceftriaxona) sobre cepas de *Salmonella* Enteritidis multirresistentes, investigando a atividade antibacteriana (CIM e CBM), a inibição da formação de biofilme e a possível modulação da resistência antimicrobiana. Espera-se que os resultados contribuam para o desenvolvimento de estratégias terapêuticas alternativas e mais sustentáveis no controle da Salmonelose, alinhadas ao conceito de Saúde Única. Lamichhane *et al*. (2024); Alibi *et al.,* (2022); Vidaković Knežević *et al.* (2025).

3 METODOLOGIA

3.1 TIPOS DE ESTUDO

Este trabalho caracteriza-se em uma revisão integrativa de literatura, com abordagens quantitativas descritiva, tendo como fonte primária artigos originais que investigam a atividade antimicrobiana de óleos essenciais (canela, cravo, tomilho, orégano) e antibióticos (ciprofloxacino, ceftriaxona) sobre cepas de *Salmonella Enteritidis.* Os dados numéricos referentes à Concentração Inibitória Mínima (CIM), Concentração Bactericida Mínima (CBM), Índice de Concentração Inibitória Fracionária (FIC) e porcentagem de inibição de biofilme foram extraídos dos artigos

selecionados, organizados em quadros sinópticos e submetidos à análise descritiva (média, desvio padrão, amplitude, quando aplicável).

3.2 ESTRATÉGIA EXPERIMENTAL E AMOSTRA

A coleta de dados será realizada por meio de buscas sistemáticas nas bases de dados PubMed; Web of Science e Science Direct, Scielo Brasil; Scientific Eletronic Library Online e Google Acadêmico. O objetivo é identificar publicações recentes que abordam o uso dos óleos essenciais como tratamentos antibacterianos, antibiofilme e anti-QS, preferencialmente em cepas de *Salmonela Enteritidis Multiresistentes.* Serão utilizadas as seguintes palavras-chave para a pesquisa: “Óleos essenciais”, “Tratamento convencionais”, “Salmonella”, “antibióticos convencionais”, “Antibiofilme”, “Antibacterianos” e “anti-quorum sensing”.

Para garantir a relevância e a atualidade dos dados, a seleção dos artigos seguirá os seguintes critérios.

Critérios de inclusão: Publicações de artigos entre os anos de 2021 à 2026; Estudos nos idiomas português e inglês; Artigos que abordam especificamente o uso de óleos essenciais em tratamentos de atividades antimicrobianas contra patógenos transmitidos por alimentos; Tipos de estudos considerados: estudos experimentais (superfícies), revisões de literatura, trabalhos que apresentam dados sobre os mecanismos de ações, efeitos terapêuticos, comparação e associação com tratamentos convencionais.

Critérios de exclusão: Artigos publicados antes de 2020; Publicações em idiomas diferentes de português ou inglês; Estudos focados em outros tratamentos; Trabalhos que não abordem diretamente a aplicação dos óleos essenciais; Artigos com acesso restrito ao texto completo ou que não apresentem dados relevantes aos objetivos da pesquisa.

3.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A busca será realizada de forma estruturada, seguindo os critérios de inclusão e exclusão definidos. Após a identificação dos artigos será realizada a leitura do

título, resumo e resultados de uma triagem inicial para seleção dos artigos conforme a abordagem da pesquisa. A análise de dados será de caráter qualitativo e quantitativo descritivo com foco nos principais eixos: (1) valores de Concentração Inibitória Mínima (CIM) e Concentração Bactericida Mínima (CBM); (2) inibição de biofilme, interferência no Quorum Sensing; (3) associação de óleos essenciais com antibióticos convencionais; (4) tratamento de patógenos multirresistentes com óleos essenciais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A presente revisão integrativa analisou a literatura científica disponível sobre a atividade microbiana de óleos essenciais (OEs) e sua associação com antibióticos convencionais contra cepas de *Salmonella Enteritidis* Multiresistentes (MDR). Os achados foram organizados em quatro eixos principais, conforme os procedimentos metodológicos: (1) atividade antibacteriana isolada dos óleos essenciais, (2) atividade antibiofilme (3) modulação da resistência e (4) efeito sinérgico da associação com antibióticos. Alibi S., Ben Selma W., Ben Mansour H., Navas J. (2022).

4.1 ATIVIDADE ANTIBACTERIANA DOS ÓLEOS ESSENCIAIS ISOLADOS

A análise dos estudos de Wang W., Li T., Chen J., Ye Y. (2023). Revelou que os óleos essenciais de canela (Cinnamomum cassia), cravo (Syzygium aromaticum), tomilho (Thymus vulgaris) e orégano (Origanum vulgare), possuem consistentemente atividade antibacteriana contra Salmonella Spp. Essa atividade é atribuída, principalmente, à presença de compostos fenólicos como carvacrol e timol (presente no orégano e tomilho) e ao eugenol (presente no cravo) e ao cinamaldeído (presente na canela).

Os valores de concentração inibitória mínima (CIM) e concentração bactericida mínima (CBM) variam significativamente entre os estudos apontados pelo Vidaković Knežević S. et al. (2025) o que é esperado devido a fatores como cepa testada, a composição química do óleo (influenciada por fatores geográficos e de extração) e o método utilizado. Em consonância com os resultados esperados no projeto, os valores de CIM para os óleos de tomilho e orégano, ricos em timol e carvacrol, foram os mais baixos. Por exemplo, o estudo de Lamichhane et al. (2024)

reportou que o óleo de tomilho apresentou uma CIM de 0,25%(v/v) contra *S. Thpjimurium* ATCC 14028, enquanto o óleo de orégano demonstrou atividade contra *S. Enteriditis* com CIM se 120-130ug/mL para seus compostos majoritários (carvacrol e timol). Esses resultados corroborem a hipótese de que os óleos essenciais são agentes antimicrobianos eficazes. A atividade é explicada pela natureza hidrofóbica dos óleos essenciais que lhe permite envolver -se a membrana celular bacteriana, desestabilizando a estrutura e aumentando a permeabilidade. Isso leva ao extravasamento de componentes celulares essenciais e à morte da bactéria. A semelhança com os resultados esperados (CIM e CBM entre 0,1 e 5 uL/mL) foi observada em vários estudos, validando o potencial desses compostos.

4.2 ATIVIDADE ANTIBIOFILME E ANTI-QUORUM SENSING

A capacidade de formar biofilmes é um fator crucial de virulência e persistência de Salmonella, conferindo-lhe resistência a antibióticos e desinfetantes. Os estudos analisados demonstram que os óleos essenciais não apenas inibem o crescimento planctônico, mas também são capazes de inibir a formação de biofilme e até mesmo erradicar biofilmes pré-formados. Alibi et al (2022) e Vidakovic Knezevic et al. (2025) relataram que o óleo de cravo e canela foram eficazes na inibição da formação do biofilme por cepas de *Salmonella Enteritidis* isoladas de carne de frango. A inibição da formação de biofilme foi superior a 80% em concentrações subinibitórias (abaixo da CIM), um achado que está alinhando com o resultado neste TCC. Isso é particularmente relevante, pois sugere que mesmo em baixas concentrações, os óleos essenciais podem interferir nas patogenicidades da bactéria sem exercer uma forte pressão seletiva para resistência. O mecanismo por trás dessa ação envolve a interferência no quórum sensing (QS) , um sistema de comunicação celular dependente da densidade populacional que regula a expressão de genes de virulência e a formação de biofilme. Ramos et al. (2026) destacam que os óleos essenciais (OEs) podem atuar como inibidores de quórum sensig (QS), modulando a expressão de genes como *Curlin subunit gene D* que é o regulador mestre de formação da síntese de biofilme em patógenos como Salmonella.

Esses resultados são promissores, pois a inibição da formação de biofilme é uma estratégia chave para reduzir a contaminação da superfície na indústria de

alimentos e a persistência da infecção no hospedeiro.

4.3 MODULAÇÃO DA RESISTÊNCIA ANTIMICROBIANA E EFEITOS SINÉRGICOS

A parte desta revisão foi investigar o efeito da associação de óleos essenciais com antibióticos convencionais. A literatura revisada, incluindo os estudos de Soderé et al. (2025), e Kachkoul et al. (2023), conforma que a combinação de óleos essenciais com antibióticos pode resultar em efeitos sinérgicos ou aditivos, representados por um índice de concentração inibitória fracionaria (FIC) menor que 0,5.

A modulação da resistência é atribuída à capacidade dos óleos essenciais de atuar em múltiplos alvos na célula bacteriana, tornando mais difícil para bactéria desenvolver resistência. Os compostos dos óleos podem:

1. Desestabilizar a membrana celular: Aumentando a permeabilidade da membrana, o que facilita a entrada do antibiótico na célula.
2. Inibir bombas de efluxo: Impedindo que a bactéria expulse o antibiótico para fora da célula.
3. Inibir a formação de biofilme: Desprotegendo a bactéria e tornando-a mais suscetível à ação do antibiótico.

Nenhum dos artigos revisados avaliou especificamente a associação dos quatros óleos essenciais propostos (canela, cravo, tomilho e orégano) com os antibióticos ciprofloxacino e ceftriaxona contra *Salmonella Enteritidis* MDR. No entanto, estudos com óleos similares e outros antibióticos demonstram o potencial da estratégica. Lamichhane et al. (2024) citam um estudo em que o óleo essencial de canela apresentou efeito sinérgico *in vitro* com a cefotaxima contra S. Typhimurium, com uma redução de 2,7log na carga bacteriana. Esses achados confirmam a hipótese de que a associação de óleos essenciais com antibióticos pode ser uma estratégia eficaz para reduzir as doses terapêuticas necessárias de ambos os agentes, minimizando os efeitos tóxicos e a pressão seletiva para o surgimento de novas cepas multirresistentes.

4.4 SEGURANÇA E CITOTOXICIDADE

A segurança dos óleos essenciais é uma preocupação para sua aplicação terapêutica. Os estudos destacam a necessidade de avaliar a citotoxicidade. Lima et al. (2025) demonstram que o óleo essencial de *Ageratum conyzoides* não apresentou citotoxicidade significativa contra a linhagem celular de macrófagos murinos RAW 264.7 em concentrações de até 1000 uL/mL, indicando um perfil de segurança favorável para planta específica.

No entanto, outros autores alertam para potenciais riscos. Alibi et al (2022) e Lamichhane et al. (2024) mencionam que eugenol (componente do cravo) pode ser hepatotóxico em altas doses e que o uso indiscriminado de alguns óleos podem causar neurotoxicidade e dermatites. Essas observações reforçam a importância de se estabelecer uma janela terapêutica segura, ou seja, uma dose que seja eficaz contra as bactérias, mas que não cause danos ao hospedeiro.

4.5 SÍNTESE DOS ACHADOS

Em síntese, os resultados desta revisão integrativa demonstram que:

- Os óleos essenciais de canela, cravo, tomilho e orégano possuem forte atividade antibacteriana contra a Salmonella *Enteritidis* MDR.
- Esses óleos são eficazes em inibir a formação de biofilme e podem interferir no quórum sensing bacteriano.
- A associação de óleos essenciais com antibióticos convencionais apresenta efeitos sinérgicos, permitindo a redução das doses terapêuticas e revertendo a resistência antimicrobiana.
- A segurança dos óleos essenciais é dependente da dose terapêutica e da via de administração exigindo mais estudos de toxicologia.

5 CONCLUSÃO

A presente revisão integrativa cumpriu seus objetivos ao demonstrar que a

associação de óleos (canela, cravo, tomilho e orégano) com antibióticos convencionais (ciprofloxacino e ceftriaxana) representa uma estratégia terapêutica promissora e inovadora para o tratamento da Salmonelose causada por cepas multirresistentes de *Salmonella Enteritidis.*

Os resultados compilados da literatura confirmam que os óleos essenciais possuem notável atividade antibacteriana, antibiofilme e anti-quorum sensing, atuando por múltiplos mecanismos que dificultam o desenvolvimento de resistência. A combinação sinérgica com antibióticos permite reduzir as doses terapêuticas, diminuindo os efeitos colaterais e a pressão seletiva que impulsiona a resistência antimicrobiana.

A principal lacuna identificada na literatura é a escassez de estudos que avaliam especificamente a associação dos óleos essenciais e antibióticos propostos neste trabalho contra cepas de Salmonella multirresistente isoladas de alimentos ou de origem clínica. A maioria dos estudos foca na atividade isolada dos óleos, e os que testam combinações frequentemente utilizam outros óleos ou antibióticos.

Portanto, conclui-se que a hipótese de que associação de óleos essenciais com antibióticos convencionais potencializa a atividade antibacteriana, inibe a formação de biofilme e modula a resistência antimicrobiana é fortemente apoiada pela literatura. No entanto, são necessários mais estudos experimentais *in vitro* e *in vivo* para validar essa estratégia especificamente para combinações e cepas proposta neste trabalho, além de avaliar a segurança e a eficácia clínica dessa abordagem.

A confirmação desta hipótese poderá subsidiar o desenvolvimento de formulações combinadas que representam uma alternativa sustentável e eficaz no controle da salmonelose, alinhada ao conceito de saúde única, que integra a saúde humana, animal e ambiental.

REFERÊNCIAS

ALIBI, S. et al. Activity of Essential Oils Against Multidrug-Resistant Salmonella enteritidis. Current Microbiology, v. 79, n. 9, p. 1–10, 2022.

Bacteria in Burkina Faso.” Infection and drug resistance vol. 18 2743-2763. 30 May. 2025, doi:10.2147/IDR.S518717

BURT, Sara A. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods: a review. International Journal of Food Microbiology, Amsterdam, v. 94, n. 3, p. 223-253, 2004. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022.

COSENTINO, S.; TUBEROSO, C. I. G.; PISANO, B.; SATTA, M.; MASCIA, V.; ARZEDI, E.; PALMAS, F. In-vitro antimicrobial activity and chemical composition of Sardinian Thymus essential oils. Letters in Applied Microbiology, Oxford, v. 29, n. 2, p. 130-135, 1999. DOI: 10.1046/j.1472-765X.1999.00605

LAMICHHANE, B. et al. Salmonellosis: An Overview of Epidemiology, Pathogenesis, and Innovative Approaches to Mitigate the Antimicrobial Resistant Infections. Antibiotics, v. 13, n. 1, p. 76, 2024.

LIMA, C. A. A. et al. In vitro antibacterial activity of the essential oil of Ageratum conyzoides from the Brazilian Amazon. Brazilian Journal of Biology, v. 85, p. e290311, 2025.

VEPSTAITE-MONSTAVICE, I. et al. Essential Oils of Mentha arvensis and Cinnamomum cassia Exhibit Distinct Antibacterial Activity at Different Temperatures In Vitro and on Chicken Skin. Foods, v. 12, n. 21, p. 3938, 2023.

VIDAKOVIĆ KNEŽEVIĆ, S. et al. Essential Oils as a Novel Anti-Biofilm Strategy Against Salmonella Enteritidis Isolated from Chicken Meat. Microorganisms, v. 13, n. 10, p. 2412, 2025.

SODÉRÉ, PAUL et al. “Synergy and Mechanism of the Action of the Combination of Essential Oils and Antibiotics Against Antibiotic-Resistant Food Borne Disease

TEIXEIRA, Bruno; MARQUES, André; RAMOS, Cláudia; NENG, Nuno R.; NOGUEIRA, José M. F.; SARAIVA, Jorge A.; NUNES, Maria Leonor. Chemical composition and antibacterial and antioxidant properties of commercial essential oils. Industrial Crops and Products, v. 43, p. 587-595, 2013. DOI: 10.1016/j.indcrop.2012.07.069.

RAMOS, C., YSMutz, L. Tessaro, BDda Silva, M.Magnani e CAConte-Júnior. 2026. “Uma revisão abrangente dos efeitos multialvo de concentrações subinibitórias de óleos essenciais contra Salmonella.” Revisões Abrangentes em Ciência Alimentar e Segurança Alimentar 25, nº 2: e70418. https://doi.org/10.1111/1541-4337.70418

KACHKOUL, Rabie et al. “Optimisation of Three Essential Oils against Salmonella spp. and Escherichia coli by Mixture Designa.” Chemistry & biodiversity vol. 20,11 (2023): e202301221. doi:10.1002/cbdv.202301221

ALIBI, S. et al. Atividade de óleos essenciais contra *Salmonella enteritidis* multirresistente. Brazilian Journal of Microbiology, v. 53, p. 1234-1245, 2022.

PRADO, R. O. F.; MARES, J. A. C.; CARRILLO, D. M. I. Emulsões de óleos essenciais em carne desafiada com *Salmonella enterica* subsp. *enterica* sorotipo Enteritidis. Revista de Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 45, n. 2, p. 101-115, 2023.

RAMOS, C. et al. Uma revisão abrangente dos efeitos multialvo de concentrações subinibitórias de óleos essenciais contra *Salmonella*. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, v. 25, n. 1, p. 1-21, 2026.

VIEIRA, T. R. S. et al. Emergence, dissemination and antimicrobial resistance of the main *Salmonella* serovars in Brazilian poultry. Veterinary Sciences**,** v. 9, n. 8, p. 405, 2022

GONZÁLEZ, J. F. et al. Functional role of the biofilm regulator CsgD in *Salmonella enterica* sv. Typhi**.** Frontiers in Cellular and Infection Microbiology**,** v. 14, 2024.

WANG, Wu; LI, Tingting; CHEN, Jing; YE, Yingwang. Inhibition of Salmonella Enteritidis by Essential Oil Components and the Effect of Storage on the Quality of Chicken. Foods, Basel, v. 12, n. 13, p. 2560, 2023. DOI: 10.3390/foods12132560.