

UFSCar – UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CCET – CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA

DQ – DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

*Trabalho de Conclusão de Curso*

Bianca Munhoz

**CONSERVAÇÃO DE PRODUTOS CÁRNEOS: NITRITO E NITRATO  
COMO CONSERVANTES SINTÉTICOS E O POTENCIAL DOS ÓLEOS  
ESSENCIAIS COMO ALTERNATIVAS NATURAIS**

**SÃO CARLOS**

**2025**

**Bianca Munhoz**

**CONSERVAÇÃO DE PRODUTOS CÁRNEOS: NITRITO E NITRATO COMO  
CONSERVANTES SINTÉTICOS E O POTENCIAL DOS ÓLEOS ESSENCIAIS  
COMO ALTERNATIVAS NATURAIS**

Trabalho de conclusão de curso  
apresentada ao Departamento de Química  
da Universidade Federal de São Carlos,  
para obtenção do título de Bacharel em  
Química

Orientadora: Profa. Dra. Dulce Helena  
Ferreira de Souza

**SÃO CARLOS**

**2025**

**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS****DEPARTAMENTO DE QUÍMICA - DQ/CCET/R**

Rod. Washington Luís km 235 - SP-310, s/n - Bairro Monjolinho, São Carlos/SP, CEP 13565-905

Telefone: (16) 33518206 - <http://www.ufscar.br>

DP-TCC-FA nº 33/2025/DQ/CCET/R

**Graduação: Defesa Pública de Trabalho de Conclusão de Curso****Folha Aprovação (GDP-TCC-FA)****FOLHA DE APROVAÇÃO****BIANCA MUNHOZ****CONSERVAÇÃO DE PRODUTOS CÁRNEOS: NITRITO E NITRATO COMO CONSERVANTES SINTÉTICOS E O POTENCIAL DOS ÓLEOS ESSENCIAIS COMO ALTERNATIVAS NATURAIS****Trabalho de Conclusão de Curso****Universidade Federal de São Carlos – Campus São Carlos**

São Carlos, 27 de novembro de 2025

**ASSINATURAS E CIÊNCIAS**

Cargo/Função	Nome Completo
Orientador	Profa. Dra. Dulce Helena Ferreira de Souza
Membro da Banca 1	Profa. Dra. Ana Paula de Lima Batista
Membro da Banca 2	Msc. Ivo César de Lima



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Samuel Schwab, Professor(a)**, em 27/11/2025, às 11:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufscar.br/autenticacao>, informando o código verificador **2085324** e o código CRC **EC0C31E4**.

**Referência:** Caso responda a este documento, indicar expressamente o Processo nº 23112.001933/2024-38

SEI nº 2085324

Modelo de Documento: Grad: Defesa TCC: Folha Aprovação, versão de 02/Agosto/2019

## **Agradecimentos**

Agradeço à UFSCar pela oportunidade de cursar o ensino superior e pela qualidade de ensino disponibilizada. Aos professores do corpo docente, sou grata por todo o conhecimento compartilhado ao longo destes anos, base sólida para a elaboração deste estudo.

Dedico um agradecimento especial aos meus pais, pelos esforços e sacrifícios incalculáveis, que sob muito sol, me permitiram caminhar pela sombra. Agradeço pelo amor incondicional e pelo incentivo constante para que eu tivesse acesso a uma educação de qualidade. Vocês são meus maiores exemplos de caráter e dedicação.

Aos meus companheiros de laboratório, Victor, Matheus e Eduardo, por terem me proporcionado uma experiência de primeiro estágio feliz, mesmo nos dias mais cansativos. Obrigada por me ensinarem valores profissionais e de amizade, e por me fazerem acreditar em minha capacidade.

Em especial, gostaria de agradecer à Letícia Satiko, que se tornou uma amiga de valor inestimável e sempre esteve ao meu lado com os melhores conselhos. Mulher e profissional admirável, companheira e de coração gentil, você sempre terá um lugar especial em meu coração.

À Realtech Alimentos, que me acolheu como uma família, proporcionando dias de muito aprendizado, crescimento profissional, comemorações, risadas e novos amigos.

Ao grupo PET Química, que me ensinou sobre comprometimento e trabalho em equipe durante os anos em que tive o privilégio de fazer parte.

Por fim, meus sinceros e profundos agradecimentos a todas as pessoas que me apoiaram e contribuíram para que eu chegasse até aqui. Aos meus amigos do fundamental, da graduação, do PET Química e do estágio, minha família e meus professores: todos contribuíram para que eu pudesse ser quem sou hoje.

## **Resumo**

Este trabalho analisa os métodos mais usuais de conservação de produtos cárneos, com ênfase no uso de nitrito e nitrato como sais de cura, destacando suas funções tecnológicas, aspectos toxicológicos e os principais métodos analíticos descritos na literatura para sua determinação. A pesquisa foi conduzida por meio de revisão bibliográfica, reunindo artigos científicos, livros técnicos, normas internacionais e documentos oficiais que tratam da qualidade, segurança e composição da carne. Os estudos avaliados evidenciam que, embora o nitrito e o nitrato sejam essenciais para a fixação da cor característica, para o desenvolvimento do sabor típico e para o controle de microrganismos como *Clostridium botulinum*, seu emprego requer monitoramento, especialmente devido ao risco de formação de nitrosaminas e à necessidade de observância dos limites legais estabelecidos para uso seguro. Também foi analisado o potencial dos óleos essenciais como alternativas naturais capazes de complementar ou reduzir parcialmente a utilização de conservantes sintéticos, tendo em vista suas propriedades antimicrobianas e antioxidantes que contribuem para a estabilidade dos produtos. Conclui-se que a integração entre tecnologias tradicionais e alternativas naturais representa um caminho promissor para a indústria cárnea brasileira, favorecendo melhorias em segurança, qualidade e atendimento à demanda crescente por produtos mais naturais e com rotulagem limpa.

**Palavras-chave:** produtos cárneos; nitrito; nitrato; óleos essenciais; conservação.

## **Abstract**

This study analyzes the most common methods of meat preservation, with emphasis on the use of nitrite and nitrate as curing agents, highlighting their technological functions, toxicological aspects, and the main analytical methods described in the literature for their determination. The research was conducted through a bibliographic review, gathering scientific articles, technical books, international standards, and official documents addressing meat quality, safety, and composition. The evaluated studies show that, although nitrite and nitrate are essential for color fixation, the development of characteristic flavor, and the control of microorganisms such as *Clostridium botulinum*, their use requires monitoring, especially due to the potential formation of nitrosamines and the need to comply with legal limits established for safe application. The study also examined the potential of essential oils as natural alternatives capable of complementing or partially reducing the use of synthetic preservatives, considering their antimicrobial and antioxidant properties, which contribute to product stability. It is concluded that the integration of traditional technologies with natural alternatives represents a promising path for the Brazilian meat industry, promoting improvements in safety, quality, and alignment with the growing demand for more natural products and clean labeling.

**Keywords:** meat products; nitrite; nitrate; essential oils; preservation.

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> – Estruturas químicas do nitrito e nitrato .....	14
<b>Figura 2</b> – Conversão de nitrato de sódio a nitrito de sódio até a formação de óxido nítrico.	14
<b>Figura 3</b> – Mudanças químicas da mioglobina durante as reações de cura .....	16
<b>Figura 4</b> – Mecanismo de formação de nitrosaminas em meio ácido .....	21
<b>Figura 5</b> – Mecanismo de reação usada no método de Griess-Ilosvay .....	25
<b>Figura 6</b> – Representação esquemática dos componentes de um sistema de Eletroforese Capilar .....	29
<b>Figura 7</b> – Estruturas químicas de um aldeído e de um fenol .....	31
<b>Figura 8</b> – Estruturas químicas do timol, carvacrol, eugenol e cinamaldeído.....	34

## Lista de Tabelas

<b>Tabela 1</b> – Vantagens e limitações do método de Método de Griess - Espectrofotometria UV-Vis.....	28
---	----

## **Lista de Siglas e Abreviações**

**ANVISA** – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

**APPCC** – Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle

**CCET** – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia

**CZE** – Eletroforese Capilar de Zona (*Capillary Zone Electrophoresis*)

**DNA** – Ácido Desoxirribonucleico

**EFSA** – *European Food Safety Authority* (Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos)

**FAO** – *Food and Agriculture Organization* (Organização para a Alimentação e Agricultura)

**IDA** – Ingestão Diária Aceitável

**ISO** – *International Organization for Standardization* (Organização Internacional de Padronização)

**JECFA** – *Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives* (Comitê Misto FAO/OMS de Especialistas em Aditivos Alimentares)

**MAPA** – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

**NED** – N-(1-naftil)-etilenodiamina

**NMKL** – *Nordic Committee on Food Analysis* (Comitê Nórdico para Análise de Alimentos)

**NO** – Óxido Nítrico

**UV-Vis** – Ultravioleta-Visível

**WHO** – *World Health Organization* (Organização Mundial da Saúde)

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
<b>2 REVISÃO LITERÁRIA</b>	<b>13</b>
2.1 Conservantes Sintéticos - nitrito e nitrato	13
2.1.1 Funções tecnológicas	13
2.1.1.1 Fixação de cor – nitrosomioglobina	13
2.1.1.2 Contribuição para o sabor	17
2.1.1.3 Ação antimicrobiana (Clostridium botulinum)	18
2.1.2 Aspectos toxicológicos	19
2.1.2.1 Metabolismo	19
2.1.2.2 Formação de nitrosaminas	20
2.1.2.3 Ingestão diária aceitável (IDA)	22
2.1.3 Métodos oficiais de determinação de nitrito e nitrato	24
2.1.3.1 Método de Griess – espectrofotometria UV-Vis	25
2.1.3.1.1 Preparo de amostras – clarificação com reagentes de Carrez	26
2.1.3.1.2 Vantagens e limitações	27
2.1.4 Determinação por eletroforese capilar de zona	29
2.2 Alternativas naturais: óleos essenciais	31
2.2.1 Potencial antimicrobiano e relevância no setor cárneo	31
2.2.2 Mecanismos de ação e fatores de influência na matriz cárnea	32
2.2.3 Estratégias de aplicação	33
2.2.4 Atividade antioxidante e inibição da oxidação lipídica	33
2.2.5 Preservação sensorial, estabilidade e vida útil	35
2.3 Discussão aplicada	35
2.3.1 Integração de estratégias: conservantes sintéticos, naturais e a redução parcial de nitrito	36
2.3.2 Controle de qualidade e monitoramento de resíduos	37
2.3.3 Perspectivas para a indústria brasileira e cenário regulatório	38
2.3.4 Segurança do consumidor e a tendência "clean label"	39
<b>3 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>40</b>
<b>4 REFERÊNCIAS</b>	<b>41</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A presença da carne na alimentação humana remonta às primeiras organizações sociais, sendo reconhecida como fonte fundamental de nutrientes indispensáveis ao funcionamento do organismo. Quando inserida de maneira equilibrada na dieta, representa um alimento de elevado valor biológico, capaz de fornecer proteínas completas, lipídios essenciais e micronutrientes de alta biodisponibilidade, atributos que reforçam sua importância nutricional (SHAKIL et al., 2022). Entre seus principais componentes, as proteínas se destacam por participar de praticamente todos os processos celulares, fornecendo aminoácidos essenciais que o corpo não sintetiza e que são necessários para o crescimento, para a manutenção dos tecidos e para a atuação do sistema imune (ZHANG et al., 2023). Os lipídios presentes na carne, por sua vez, reúnem ácidos graxos poli-insaturados que funcionam como precursores de moléculas reguladoras de respostas inflamatórias, pressão arterial e metabolismo lipídico, desempenhando papel significativo na homeostase (RODRIGUES et al., 2023).

Quanto aos micronutrientes, a carne fornece ferro predominantemente na forma heme, cuja absorção é superior à observada em fontes vegetais, sendo esse mineral essencial para a prevenção da anemia ferropriva (MUNEKATA et al., 2021). Parte das carnes também contém vitamina D, substância lipossolúvel que atua na saúde óssea, no sistema imune e no funcionamento muscular, reforçando o caráter multifuncional desse alimento na dieta cotidiana (YU; CHIN; PAIK, 2021).

Em termos industriais, a carne é classificada como um produto altamente perecível, exigindo o emprego de métodos tecnológicos capazes de prolongar sua vida útil e garantir segurança ao consumidor. Historicamente, técnicas como salga e secagem ao sol foram amplamente utilizadas para reduzir a atividade de água e impedir o crescimento microbiano. Com o avanço científico, surgiram métodos como refrigeração, congelamento, tratamentos térmicos e desidratação, que, combinados ou não à fermentação, elevaram significativamente a eficiência da conservação (ALAHKOON et al., 2015). Entre esses avanços, o uso de sais de cura — especialmente nitrito e nitrato — consolidou-se como uma das estratégias mais relevantes da indústria cárnea contemporânea, tanto pela capacidade de conferir cor e sabor característicos quanto por inibir o crescimento de *Clostridium botulinum*, microrganismo associado ao botulismo alimentar (RIVERA; BUNNING; MARTIN, 2019).

Apesar de sua importância tecnológica e sanitária, o emprego de nitritos e nitratos exige monitoramento rigoroso. O nitrito, quando consumido em concentrações acima das

permitidas, pode provocar toxicidade e favorecer a formação de nitrosaminas, compostos classificados como carcinogênicos (ZHANG et al., 2023). Devido a esses riscos, legislações internacionais e nacionais estabelecem limites estritos para seu uso, de modo a equilibrar segurança alimentar e qualidade do produto final (SHAKIL et al., 2022). Assim, a determinação analítica de nitrito e nitrato tornou-se etapa indispensável nos programas de controle de qualidade, sendo realizada por métodos que vão de testes colorimétricos de triagem até técnicas instrumentais avançadas, como cromatografia e espectrometria (PINELLI et al., 2021).

Diante das discussões sobre segurança alimentar e do aumento da demanda por rótulos mais naturais, alternativas aos conservantes sintéticos começaram a ganhar destaque. Nesse cenário, os óleos essenciais surgem como opções promissoras, pois contêm compostos bioativos capazes de exercer atividade antimicrobiana e antioxidante. Óleos como os de orégano, tomilho, cravo, alecrim ou canela apresentam potencial para inibir microrganismos deteriorantes e patogênicos, ao mesmo tempo em que retardam a oxidação lipídica e preservam características sensoriais da carne (CAMPOLINA et al., 2023). Estudos recentes demonstram, inclusive, que alguns desses óleos podem ser empregados para reduzir a dependência dos nitritos na formulação de embutidos e produtos curados, desde que avaliadas concentrações eficazes e eventuais impactos sensoriais (JAYASENA; JO, 2013; TOMOVIĆ et al., 2020).

Mesmo com avanços promissores, desafios persistem, como a necessidade de padronização das doses utilizadas, a definição de protocolos regulatórios e a garantia de estabilidade tecnológica desses compostos naturais. Ainda assim, a incorporação de óleos essenciais em produtos cárneos reflete uma tendência crescente de inovação na indústria de alimentos, buscando atender consumidores que preferem produtos menos artificiais, mas igualmente seguros e estáveis (YU; CHIN; PAIK, 2021).

Dessa forma, a relevância do tema está associada tanto ao aprimoramento dos métodos de controle de qualidade, que asseguram níveis seguros de nitrito e nitrato, quanto à pesquisa de alternativas naturais que possam complementar ou substituir esses aditivos sintéticos. A análise crítica desses dois eixos — segurança dos sais de cura e potencial tecnológico dos óleos essenciais — contribui para o desenvolvimento de produtos cárneos mais saudáveis, sustentáveis e alinhados às demandas contemporâneas de consumo.

A proposta central deste trabalho é avaliar os dados disponíveis na literatura sobre o papel dos sais de cura na conservação de produtos cárneos e analisar criticamente a segurança de seu uso, a partir das evidências científicas. Busca-se, simultaneamente, sintetizar e discutir

o potencial dos óleos essenciais como alternativas naturais capazes de complementar ou substituir parcial ou totalmente o emprego de nitrito e nitrato. Essa análise envolve não apenas o entendimento das suas funções tecnológicas tradicionais, mas também a discussão aprofundada acerca dos riscos toxicológicos associados ao consumo excessivo e à formação de nitrosaminas, que permanecem como um dos principais desafios para a indústria (PASCOAL et al., 2023). Ao reunir e contrastar essas perspectivas, o presente estudo pretende oferecer um panorama teórico e fundamentado em pesquisas.

Para atingir esses objetivos, este estudo fundamenta-se em uma metodologia baseada em pesquisa bibliográfica, utilizando materiais científicos recentes publicados em periódicos especializados da área de Ciência de Alimentos. A pesquisa bibliográfica, conforme ressaltam Shakil et al. (2022), permite o levantamento crítico de conhecimentos já consolidados e de novas abordagens tecnológicas aplicadas à conservação de carnes. Dessa forma, foram selecionados artigos que abordam o uso de nitritos e nitratos como conservantes, os riscos associados ao seu consumo, bem como estudos que investigam a eficácia de óleos essenciais no controle microbiano e na estabilidade oxidativa de produtos cárneos. Esse tipo de metodologia possibilita uma visão integrada das diferentes estratégias de conservação, destacando avanços, limitações e tendências emergentes para o setor.

O levantamento das publicações científicas contemplou estudos experimentais, revisões sistemáticas e artigos de revisão narrativa que discutem tanto a química dos sais de cura quanto as aplicações práticas dos óleos essenciais na indústria de carnes. Pesquisas como as de Campolina et al. (2023), Tomović et al. (2020) e Pinelli et al. (2021) foram consideradas fundamentais por apresentarem dados atualizados sobre compostos naturais e sua interação com a matriz cárnea. A partir dessa análise, foi possível compreender como fatores como concentração, composição química, forma de aplicação e condições de processamento influenciam a eficácia dos métodos de conservação. Assim, a metodologia adotada proporciona uma base sólida para a comparação entre conservantes sintéticos e naturais, permitindo a elaboração de uma discussão aprofundada sobre a viabilidade tecnológica, sanitária e sensorial dessas alternativas.

## 2 REVISÃO LITERÁRIA

### 2.1 Conservantes Sintéticos - nitrito e nitrato

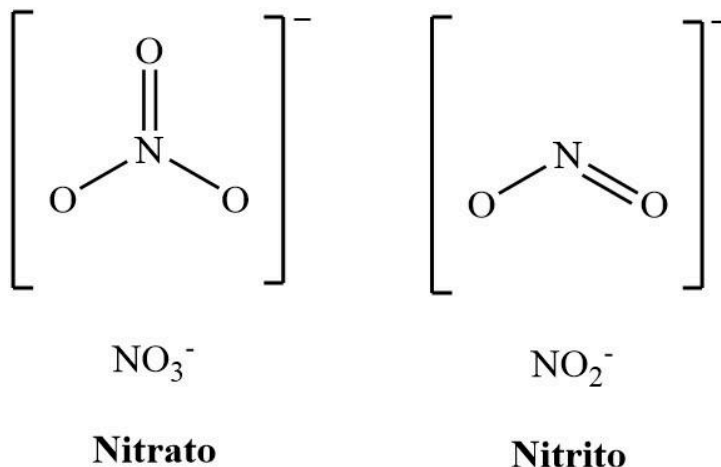
Os nitritos e nitratos desempenham funções tecnológicas vitais na indústria cárnea, atuando simultaneamente como agentes antimicrobianos, antioxidantes e fixadores de cor. Em contrapartida, apresentam aspectos toxicológicos, como a formação de nitrosaminas; para isso, fazem-se necessários métodos de determinação desses compostos visando um melhor controle de qualidade.

#### 2.1.1 Funções tecnológicas

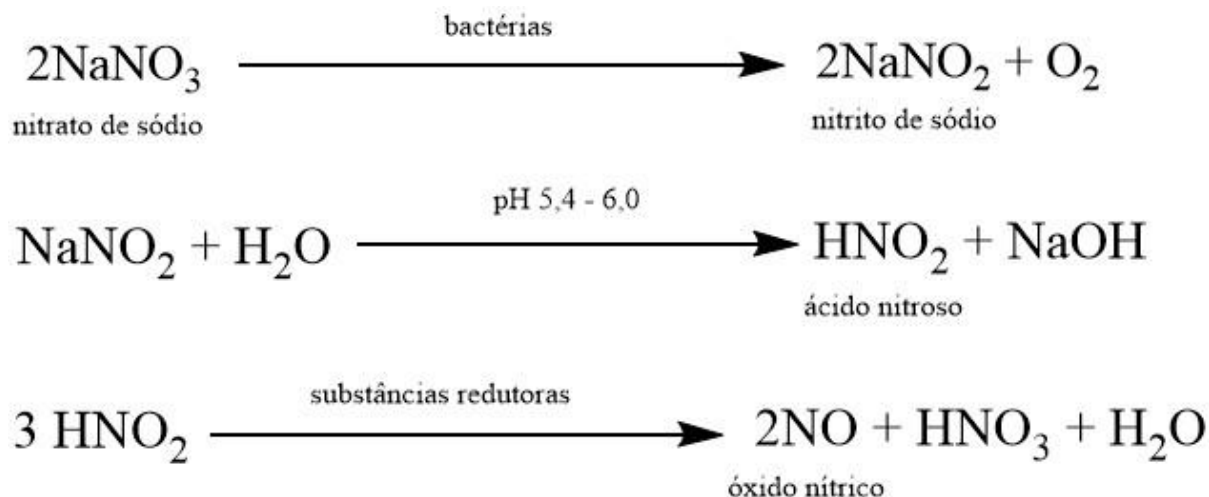
Define-se como função tecnológica o efeito específico obtido pela adição de substâncias intencionais ao alimento, chamadas de aditivos alimentares, visando modificar ou preservar suas características físicas, químicas ou biológicas (BRASIL, 2020). No processamento de produtos cárneos curados, a adição de nitritos e nitratos tem função tecnológica multifuncional, sendo responsáveis simultaneamente pela estabilidade microbiológica, pela fixação da cor característica e pelo desenvolvimento do aroma de cura (ORDÓÑEZ et al., 2005).

##### 2.1.1.1 Fixação de cor – nitrosomioglobina

A utilização de nitrito e nitrato em produtos cárneos se consolidou como uma das práticas mais importantes da indústria de alimentos, sobretudo porque seus comportamentos químicos explicam diretamente a formação e a estabilidade da cor típica de produtos curados. Do ponto de vista estrutural, o nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) apresenta geometria trigonal planar, com o nitrogênio no estado de oxidação +5 ligado a três oxigênios. Já o nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) possui geometria angular e estado de oxidação +3. Essas diferenças estruturais refletem sua reatividade: o nitrato é mais estável e atua principalmente como precursor, enquanto o nitrito é a espécie verdadeiramente ativa no processo de cura. Inserir essas estruturas, juntamente com um esquema da conversão de  $\text{NO}_2^-$  em óxido nítrico (NO), contribui para reforçar a base química necessária (figura 1 e 2).

**Figura 1** - Estruturas químicas do nitrito, nitrato

Fonte: Figura modificada de Silva (s.d).

**Figura 2** - conversão de nitrato de sódio a nitrito de sódio até a formação de óxido nítrico.

Fonte: Figura modificada de Roça (s.d.)

A cor sempre exerceu forte influência na aceitação do consumidor, pois funciona como indicativo visual de frescor e qualidade. Nesse contexto, a aplicação dos sais de cura se tornou parte essencial do processamento cárneo, sendo responsável pela formação do pigmento conhecido como nitrosomioglobina, responsável pelo tom rosado característico de linguiças, presuntos e embutidos. Esse efeito visual orienta a percepção de qualidade e reforça a tradição cultural associada a esses produtos, como discute Biesalski (2014) ao analisar a importância histórica da carne na alimentação humana.

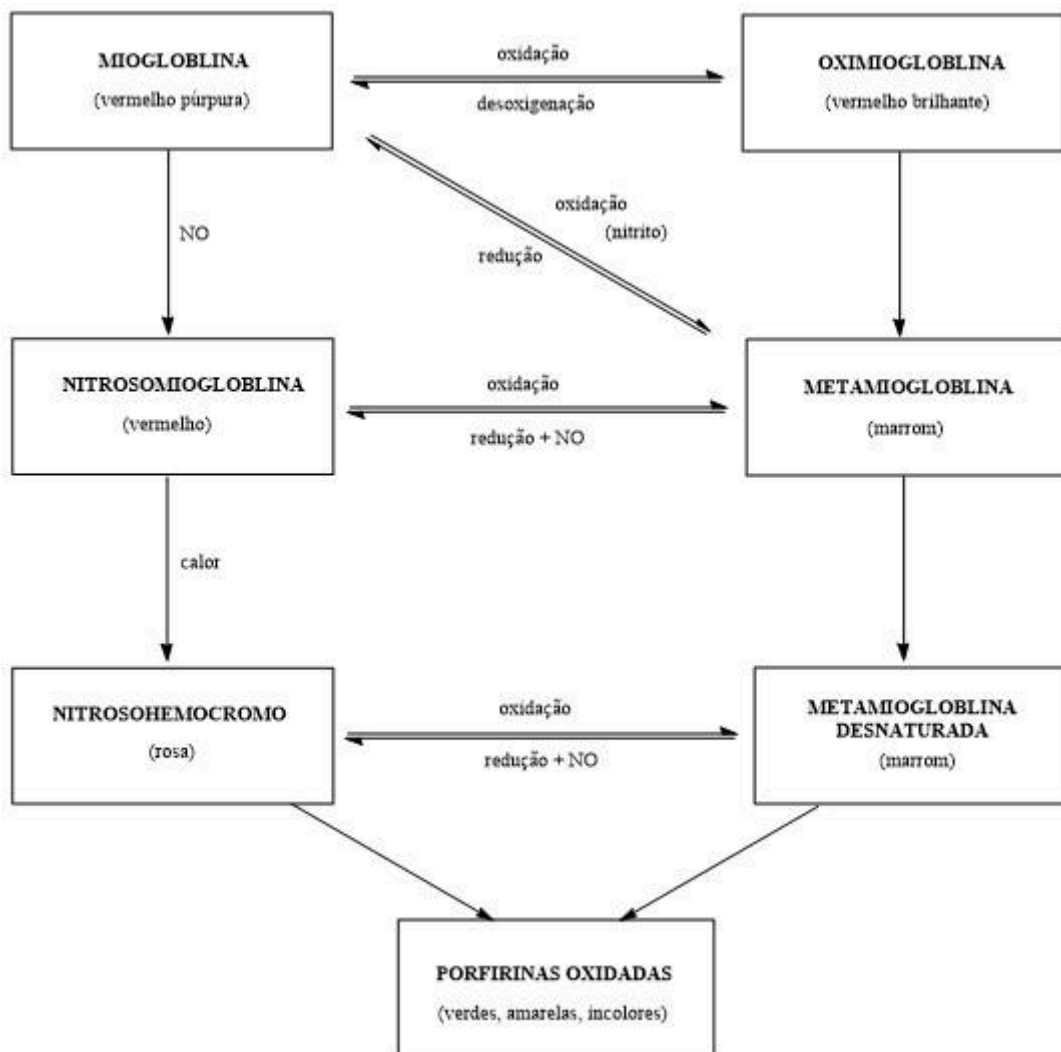
A formação da nitrosomioglobina é resultado de uma sequência de reações químicas. Inicialmente, o nitrito sofre redução a óxido nítrico (NO), molécula reativa capaz de se ligar ao ferro presente na mioglobina, no estado ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ). A ligação  $\text{NO-Fe}^{2+}$  gera um

pigmento estável, resistente ao escurecimento oxidativo. Essa estabilidade permite que o produto mantenha um aspecto visual atrativo durante o armazenamento, reforçando o papel tecnológico dos sais de cura. Li e Li (2023) destacam que a aceitação visual da carne está profundamente associada à sua coloração, uma vez que tonalidades acinzentadas ou amarronzadas são frequentemente interpretadas como sinais de deterioração.

O comportamento químico dos pigmentos naturais da carne também contribui para a relevância da nitrosomioglobina. Em contato com o oxigênio, a mioglobina tende a converter-se em metamioglobina, pigmento responsável pela coloração parda rejeitada pelo consumidor. Mancini e Hunt (2005) apontam que essa oxidação está entre os principais fatores que prejudicam a qualidade sensorial da carne, pois a cor é tipicamente o primeiro parâmetro avaliado no momento da compra. Assim, ao retardar o escurecimento e manter a tonalidade rosada, o nitrito exerce uma função determinante para a competitividade industrial.

Além disso, o comportamento da nitrosomioglobina está associado ao processo térmico. Durante o cozimento, ocorre a conversão do pigmento em nitrosil-hemocromo, estrutura mais estável ao calor. Aberle et al. (2001) explicam que essa transformação justifica a coloração uniforme de produtos como salsichas, mortadelas e presuntos, independentemente da temperatura de preparo. Isso demonstra que a função corante do nitrito é contínua, atuando desde a cura até o consumo.

**Figura 3** - Mudanças químicas da mioglobina durante as reações de cura



**Fonte:** Figura modificada de PRICE & SCHWEIGERT, (1994).

O valor cultural dos produtos cárneos curados também contribui para a importância dessa função. A aceitação visual está ligada a costumes, hábitos sociais e ao simbolismo do alimento, como demonstra Wrangham (2010) ao discutir a relevância evolutiva do consumo de carne e alimentos processados pelo fogo. Essa relação histórica ajuda a compreender por que a coloração estável permanece um dos atributos visuais mais valorizados pelo público.

Sob a perspectiva bioquímica, a estabilidade da nitrosomioglobina depende de fatores como pH, temperatura, agentes redutores e intensidade luminosa. Nelson e Cox (2014) destacam que pequenas alterações no microambiente da proteína podem influenciar sua capacidade de ligação ao óxido nítrico. Esses fatores justificam o rigor da indústria no controle dos parâmetros de processamento, garantindo que o nitrito desempenhe adequadamente sua função.

A fixação de cor também desempenha papel relevante na percepção de frescor e segurança. Silva et al. (2021) observam que consumidores interpretam cores intensas e brilhantes como sinais de qualidade, enquanto tons escurecidos despertam desconfiança. Dessa forma, a formação da nitrosomioglobina contribui diretamente para a confiança do consumidor, aspecto essencial para a comercialização dos produtos curados.

Outro ponto relevante é o controle regulatório que estabelece limites máximos de nitrito permitidos, de modo a assegurar que o desenvolvimento da cor ocorra sem comprometer a saúde pública. Essa preocupação é pertinente, pois o nitrito, quando utilizado inadequadamente, pode originar compostos tóxicos. Esses aspectos serão aprofundados no item 2.1.2, mas já é importante reconhecer que segurança e funcionalidade caminham juntas nessa discussão.

Além disso, a manutenção da cor está relacionada às reações químicas internas do produto, como a oxidação lipídica. Oliveira, Barrera-Arellano e Domene (2010) destacam que ácidos graxos poli-insaturados são suscetíveis à ação de radicais livres, acelerando processos degradativos. O nitrito, embora sua principal função seja fixar cor, auxilia indiretamente na estabilidade oxidativa, preservando aroma e coloração.

Essa complexidade é reforçada quando se analisam diferentes condições de embalagem. Em atmosferas ricas em oxigênio, há maior tendência ao escurecimento, enquanto embalagens a vácuo favorecem a estabilidade do pigmento curado, como relatam Li e Li (2023). Isso evidencia a interação entre tecnologia de embalagem e ação dos sais de cura.

Por fim, a padronização da coloração é essencial para sistemas industriais de larga escala. Como apontam Luna e Klein (2015), produtos com variações de cor tendem a ser rejeitados pelos consumidores, mesmo quando apresentam qualidade adequada. Portanto, a formação da nitrosomioglobina garante previsibilidade e padronização, fatores essenciais para a indústria moderna.

### **2.1.1.2 Contribuição para o sabor**

Além da fixação da cor, os sais de cura desempenham um papel determinante na modulação do sabor e do aroma, fatores essenciais para a aceitação do consumidor e a identidade dos produtos cárneos. Segundo Aberle et al. (2001), as reações químicas complexas promovidas pelo nitrito constroem um perfil sensorial único, indispensável para produtos curados e defumados. Essa preservação do sabor está diretamente ligada à estabilidade lipídica, uma vez que o nitrito atua retardando a oxidação das gorduras e

evitando a rancificação; conforme destacam Alahkoon et al. (2015), esse mecanismo impede a formação de compostos voláteis indesejáveis que comprometeriam a qualidade sensorial.

A proteção sensorial oferecida pelo nitrito estende-se também às proteínas e ao controle microbiológico. Ordóñez et al. (2005) explicam que a ação antioxidante do aditivo preserva a integridade das proteínas durante o cozimento, favorecendo a formação de aromas agradáveis típicos da reação de Maillard. Simultaneamente, ao inibir a proliferação de microrganismos deteriorantes, o nitrito assegura um aroma limpo e estável, evitando alterações profundas no sabor causadas pela atividade microbiana, conforme alertam Silva et al. (2021).

Por fim, a presença do nitrito é crucial para manter a identidade gastronômica de produtos tradicionais como bacon, presuntos e linguiças. A remoção desse aditivo alteraria as características sensoriais consagradas pelo público, visto que, segundo Biesalski (2014), muitos hábitos alimentares estão ancorados nessas tradições culturais. Portanto, a utilização dos sais de cura não apenas garante a segurança e a qualidade técnica, mas preserva o vínculo cultural e a expectativa de sabor estabelecida ao longo do tempo pelos consumidores.

### **2.1.1.3 Ação antimicrobiana (*Clostridium botulinum*)**

A função primordial dos sais de cura em produtos cárneos reside na sua capacidade antimicrobiana, essencial para garantir a segurança alimentar, especialmente contra o desenvolvimento de *Clostridium botulinum*. Este microrganismo, produtor de uma neurotoxina letal, encontra em embutidos as condições ideais de proliferação devido à riqueza proteica e baixa acidez. Segundo Aberle et al. (2001), a combinação entre atividade de água, temperatura e nutrientes na carne transforma esses produtos em veículos de toxinas se não houver barreiras adequadas, tornando o nitrito uma defesa indispensável, capaz de atuar mesmo contra esporos resistentes ao calor.

O mecanismo de ação do nitrito envolve sua conversão em óxido nítrico e outros compostos reativos em meio ácido, que interferem no metabolismo bacteriano. A eficácia desse processo é fundamentada na bioquímica dos centros metálicos: Nelson e Cox (2014) explicam que os complexos ferro-enxofre (Fe-S), vitais para a produção de energia celular, são estruturalmente frágeis e acabam sendo atacados pelo óxido nítrico derivado do nitrito. Esse ataque interrompe o metabolismo energético das bactérias, impedindo sua sobrevivência e a síntese da toxina botulínica.

A eficiência do conservante não é isolada, mas sim parte de um sistema multivariável que inclui sal, pH e temperatura, conceito alinhado à modernização industrial. Luna e Klein (2015) destacam que a evolução dos frigoríficos no Brasil dependeu da adoção desses sistemas integrados de controle sanitário. Nesse contexto, Damodaran e Parkin (2019) observam que ocorrem reações químicas complexas nos alimentos processados, onde o nitrito atua em sinergia com outros componentes — como o ácido ascórbico e o sal comum — para assegurar a estabilidade e a segurança do produto final.

A manutenção do nitrito na indústria é justificada pela gravidade do botulismo e pela necessidade de segurança em cadeias de distribuição amplas. Biesalski (2014) observa que a segurança alimentar é uma preocupação central nas sociedades modernas, validando o uso regulado do aditivo como uma função social e sanitária. No entanto, esse uso deve ser equilibrado para evitar a formação de nitrosaminas, seguindo diretrizes como as do JECFA (2003), que estabelece limites de Ingestão Diária Aceitável para ponderar a eficácia antimicrobiana contra riscos toxicológicos.

Por fim, compreende-se que a ação antimicrobiana do nitrito depende de um equilíbrio químico delicado na matriz cárnea. Retomando os princípios bioquímicos, Nelson e Cox (2014) enfatizam que as interações moleculares são sensíveis a variações no meio, o que exige controle rigoroso no processamento para evitar reações indesejadas. Assim, o nitrito permanece insubstituível, operando no limiar entre a garantia microbiológica e a estabilidade química do alimento.

### **2.1.2 Aspectos toxicológicos**

A análise toxicológica dos sais de cura é crucial para definir limites seguros na indústria, equilibrando sua relevância tecnológica com os riscos metabólicos, como a possível formação de compostos tóxicos em altas doses. Essa avaliação contínua por órgãos reguladores examina a absorção e transformação dos aditivos, garantindo que a eficácia na conservação e a segurança do consumidor sejam mantidas simultaneamente.

#### **2.1.2.1 Metabolismo**

A ingestão de nitrato e nitrito inicia caminhos metabólicos complexos, onde o nitrato — proveniente de vegetais, água e produtos curados — é parcialmente reduzido a nitrito pela

microbiota bucal. O documento do JECFA (2003) destaca que quase 25% do nitrato ingerido sofre essa redução natural, evidenciando que a presença de nitrito no organismo não deriva exclusivamente de aditivos industriais, mas também de fontes naturais. Portanto, a análise toxicológica deve considerar o metabolismo integrado do nitrogênio, e não apenas a parcela adicionada aos alimentos processados.

Após a absorção, o nitrito desempenha papéis duais: fisiológicos e potencialmente tóxicos. Em condições normais, atua como reservatório de óxido nítrico (NO), fundamental para a vasodilatação. Nelson e Cox (2014) descrevem que o NO ativa a guanilil ciclase, relaxando a musculatura lisa e regulando a pressão arterial. Contudo, o excesso de nitrito pode oxidar a hemoglobina, formando meta-hemoglobina, o que prejudica o transporte de oxigênio.

Esse impacto oxidativo é particularmente perigoso em populações vulneráveis, como lactentes, que possuem sistemas enzimáticos imaturos. Ludlow, Wilkerson e Nappe (2023) explicam que a alteração da hemoglobina compromete a oxigenação tecidual, podendo causar desde cianose até quadros clínicos graves. Esse mecanismo justifica a existência de legislações sanitárias rigorosas que limitam o uso de nitrito, buscando equilibrar sua função tecnológica de conservação com a proteção da saúde pública.

Apesar dos riscos, o corpo humano lida bem com pequenas quantidades, e o perigo depende da dose e do ambiente químico. Li e Li (2023) ressaltam que compostos nitrogenados participam do metabolismo normal, situando o debate na quantidade e condições de exposição. Nelson e Cox (2014) detalham que o ambiente ácido do estômago pode converter nitrito em espécies reativas, mas a ingestão concomitante de antioxidantes (comuns em vegetais) ajuda a neutralizar a formação de compostos indesejáveis antes que se tornem tóxicos.

Assim, o risco toxicológico dos sais de cura é modulado por uma perspectiva alimentar ampla, onde a dieta e a fisiologia individual determinam o equilíbrio entre segurança e toxicidade.

### **2.1.2.2 Formação de nitrosaminas**

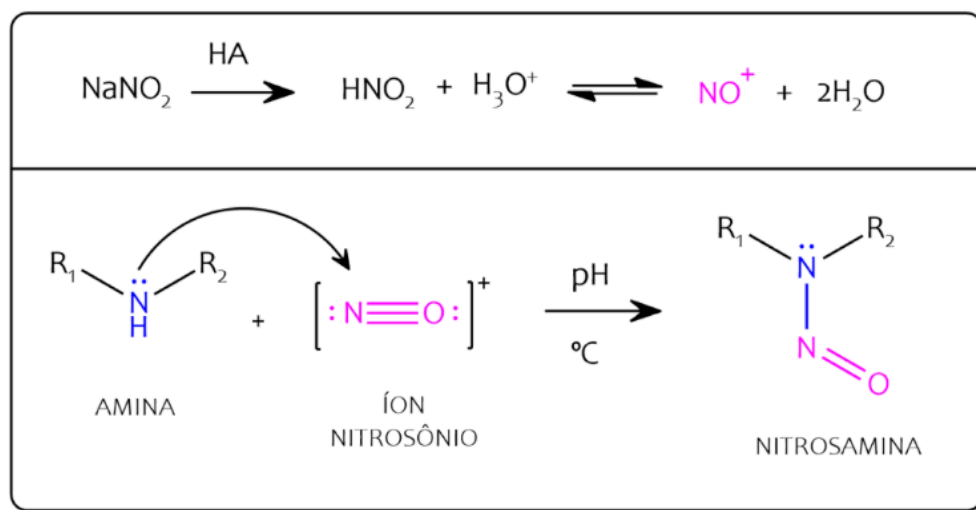
A formação de nitrosaminas constitui o ponto importante da toxicologia dos sais de cura, exigindo controle rigoroso devido ao potencial carcinogênico desses compostos, que podem surgir durante o processamento ou digestão. Honikel (2008) estabelece que essa

ocorrência é multifatorial, sendo catalisada pela interação entre calor excessivo (como na fritura), pH ácido e a disponibilidade de amins secundárias na matriz cárnea.

Sob a ótica química, Nelson e Cox (2014) fundamentam o mecanismo: o meio ácido induz a decomposição do nitrito em espécies eletrofílicas instáveis que reagem com as amins proteicas, sintetizando nitrosaminas capazes de provocar mutações celulares e comprometendo a segurança do alimento.

O mecanismo de formação das nitrosaminas (Figura 4) envolve a conversão inicial do nitrito de sódio ( $\text{NaNO}_2$ ) em ácido nitroso ( $\text{HNO}_2$ ). Em ambiente ácido, este se dissocia para formar o íon nitrosônio ( $\text{NO}^+$ ). Quando este íon sofre um ataque nucleofílico por uma amina secundária, ocorre a formação da nitrosamina correspondente. Do ponto de vista estequiométrico, “HA” representa uma fonte genérica de prótons ( $\text{H}^+$ ); a equação simplifica a transformação do nitrito, omitindo os contra-íons (como  $\text{Na}^+$  e  $\text{A}^-$ ) para focar nas espécies reativas.

**Figura 4** - Mecanismo de formação de nitrosaminas em meio ácido.



**Fonte:** WESTIN (2024)

A toxicologia internacional, demarcado pelo JECFA (2003), confirma a atividade carcinogênica da maioria das nitrosaminas em modelos animais, com danos focados no fígado, rins e trato digestivo. O risco não é isolado, mas resultado da convergência de fatores químicos — acidez, presença de amins e, crucialmente, o calor. No âmbito industrial, Honikel (2008) explica que etapas de tratamento térmico intenso, como fritura, defumação e cozimento, atuam como catalisadores dessa reação, favorecendo a interação entre amins e compostos nitrogenados. Essa relação direta entre alta temperatura e síntese de compostos

tóxicos fundamenta a atenção regulatória redobrada sobre produtos curados que sofrem aquecimento severo antes do consumo.

Além do processamento, o armazenamento também influencia a formação de nitrosaminas. A oxidação lipídica e proteica gera substâncias que podem atuar como precursoras da reação de nitrosação. Oliveira, Barrera-Arellano e Domene (2010), ao analisarem a suscetibilidade dos ácidos graxos poli-insaturados à oxidação, demonstram que produtos oxidativos podem facilitar reações subsequentes com espécies nitrogenadas. Isso sugere que a degradação natural da carne, quando combinada ao nitrito residual, cria um cenário mais propício para a geração de compostos nocivos. A presença de agentes antioxidantes naturais, por outro lado, reduz significativamente essa predisposição, reforçando a importância de estratégias que combinem conservantes sintéticos e abordagens naturais.

A formação de nitrosaminas também pode ocorrer durante a digestão. No estômago, o pH ácido favorece a conversão do nitrito em ácido nitroso, que desencadeia a formação das espécies reativas mencionadas anteriormente. Karwowska e Kononiuk (2020) discutem que o ambiente gástrico pode modificar o comportamento de compostos nitrogenados, especialmente quando há ingestão simultânea de alimentos ricos em proteínas e substâncias que contenham aminas secundárias. No entanto, a presença de antioxidantes naturais, como compostos fenólicos e vitamina C, reduz significativamente o risco de nitrosação no trato gastrointestinal. Isso mostra como a dieta, de maneira ampla, influencia a toxicidade potencial desses aditivos.

### **2.1.2.3 Ingestão diária aceitável (IDA)**

A definição da Ingestão Diária Aceitável (IDA) para nitrito e nitrato é um dos pontos centrais da discussão sobre segurança alimentar, pois estabelece limites que permitem o uso tecnológico desses compostos sem comprometer a saúde humana. A IDA funciona como um parâmetro internacionalmente aceito para determinar a quantidade máxima de uma substância que pode ser consumida diariamente durante toda a vida, sem risco apreciável para a saúde. No caso dos sais de cura, esse valor se baseia em evidências toxicológicas acumuladas ao longo de décadas, incluindo estudos sobre metabolismo, formação de nitrosaminas, efeitos acumulativos e respostas diferenciadas entre grupos populacionais.

O JECFA (2003) destaca que a IDA para o nitrato foi estabelecida considerando sua rápida eliminação pelo organismo, sua participação em vias fisiológicas do ciclo do nitrogênio e a baixa toxicidade inerente quando consumido dentro dos níveis recomendados. No relatório, o comitê fixou a IDA para nitrato em 3,7 mg/kg de peso corporal por dia, valor derivado de estudos que demonstram que a maior parte desse composto é excretada pela urina sem causar efeitos adversos significativos. Essa definição é fundamental para demonstrar que o risco toxicológico associado ao nitrato está mais relacionado à sua conversão em nitrito — e ao potencial de formação de nitrosaminas — do que à sua presença direta na dieta.

Já para o nitrito, a análise é mais complexa. Isso ocorre porque o nitrito apresenta maior reatividade química, podendo participar de processos de oxidação da hemoglobina, gerar meta-hemoglobina e agir como precursor direto das nitrosaminas. Por essa razão, o JECFA (2003) estabeleceu uma IDA mais restrita: 0,07 mg/kg de peso corporal por dia. Esse valor representa uma margem de segurança baseada em estudos que investigaram efeitos tóxicos em diferentes espécies animais e analisaram a suscetibilidade humana, especialmente em grupos como lactentes, idosos e indivíduos com doenças respiratórias ou cardiovasculares. A EFSA (2017), em sua ampla reavaliação toxicológica, ao discutir as alterações na hemoglobina que comprometem o transporte de oxigênio, explica que organismos mais sensíveis podem responder de forma mais intensa à presença do nitrito. Essa constatação reforça a necessidade de manutenção de limites rígidos de segurança na legislação.

A definição da IDA não se aplica apenas à ingestão proveniente de produtos cárneos. Hord et al. (2009) observam que o nitrito e o nitrato aparecem em diferentes partes da dieta habitual, como vegetais de folhas verdes, água potável e ingredientes processados. Quando se considera essa exposição total, fica claro que a segurança alimentar depende de um controle amplo, que envolve tanto a indústria quanto o consumidor. Isso significa que a IDA se relaciona ao somatório de nitrito ingerido por todas as vias, e não apenas ao alimento curado. Essa constatação reforça por que a legislação brasileira e internacional limita o teor permitido desses compostos nos produtos cárneos, evitando que o consumo habitual ultrapasse o limite seguro.

Também é importante considerar que a IDA representa um valor de segurança baseado em margens amplas, definidas através de cálculos que incluem fatores de incerteza. Princípios fundamentais da toxicologia, como descritos por Klaassen (2013), determinam que substâncias com potencial reativo exigem margens de segurança rigorosas. Assim, a Ingestão Diária Aceitável (IDA) é estabelecida a partir de doses experimentais mínimas que não

geraram efeitos adversos, divididas por fatores de segurança que compensam variações metabólicas humanas, diferenças entre espécies e lacunas de conhecimento. Esse método permite que os limites estabelecidos mantenham ampla proteção, mesmo em cenários de exposição elevada.

O controle regulatório também está profundamente relacionado à IDA. Luna e Klein (2015), ao analisarem a trajetória da industrialização da carne no Brasil, mostram que a modernização do setor trouxe maior rigor no controle de aditivos e na conformidade com as exigências sanitárias internacionais. Isso significa que a indústria de alimentos precisa ajustar suas formulações para garantir que o consumo médio de produtos curados não ultrapasse a IDA para diferentes faixas populacionais. Dessa forma, a legislação não atua apenas como impeditivo, mas como instrumento de equilíbrio entre funcionalidade tecnológica e proteção da saúde.

### **2.1.3 Métodos oficiais de determinação de nitrito e nitrato**

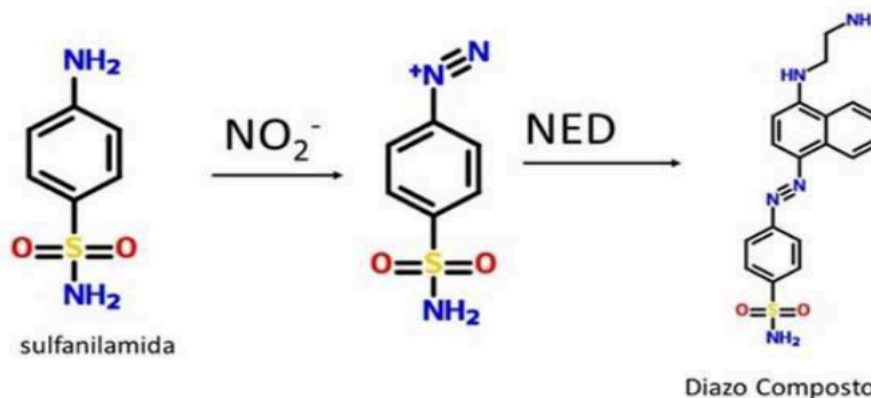
De acordo com o manual Métodos Oficiais para Análise de Produtos de Origem Animal do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a determinação dos conservantes nitrito e nitrato em produtos inspecionados deve seguir metodologias analíticas padronizadas para fins de fiscalização. O documento oficial estabelece que o método por Eletroforese Capilar de Zona (CZE) métodos baseados em Espectrofotometria de Absorção Molecular (o princípio do método de Griess), são técnicas aceitas para a quantificação desses ânions.

Para a quantificação de nitrito e nitrato pelo método de Griess, o MAPA endossa a aplicação de diferentes padrões técnicos internacionais de referência. A análise conjunta ou isolada de nitritos e nitratos pode ser realizada segundo as normas NMKL 165 ou NMKL 194 (Comitê Nórdico para Análise de Alimentos). Já a determinação separada de nitrito e nitrato deve seguir, respectivamente, as normas ISO 2918 (para nitritos) e ISO 3091 (para nitratos). O reconhecimento dessas metodologias diversificadas assegura a confiabilidade e comparabilidade dos resultados obtidos nos Laboratórios Oficiais e Credenciados da Rede Nacional de Laboratórios Agropecuários do MAPA.

### 2.1.3.1 Método de Griess – espectrofotometria UV-Vis

O método de Griess fundamenta-se na espectrofotometria de um complexo azo-colorido, consolidando-se como a técnica de referência para a determinação de nitrito devido à sua alta especificidade. A reação ocorre em meio ácido através de duas etapas consecutivas: inicialmente, o nitrito promove a diazotização da sulfanilamida, gerando um sal de diazônio que, em seguida, sofre acoplamento com N-(1-naftil)-etilenodiamina (NEDA ou NED) para formar um composto de coloração rosa intensa (figura 5). Skoog et al. (2014) descrevem esse mecanismo como uma reação clássica de diazotização seguida de acoplamento, resultando em um azo corante cuja absorvância é diretamente proporcional à concentração do analito, garantindo a sensibilidade necessária para análises em matrizes complexas.

**Figura 5** - Representa um mecanismo de reação usada no método de Griess-Ilosvay



**Fonte:** Fabris, João e Borges (2020).

Essa especificidade é um dos principais motivos pelos quais a técnica permanece como referência analítica. O Instituto Adolfo Lutz (2008) e o MAPA (2022) estabelece a reação de Griess como método oficial, confirmando que ela fornece respostas confiáveis quando aplicada de forma correta, principalmente porque a intensidade da cor formada é proporcional à concentração de nitrito presente. Além disso, o método apresenta boa reprodutibilidade, uma característica essencial para análises rotineiras em laboratórios oficiais.

Entretanto, para medir nitrato por essa técnica, é necessário realizar uma etapa prévia de redução do nitrato para nitrito, muitas vezes utilizando metais como cádmio ou reagentes redutores específicos. Esse procedimento adicional pode introduzir variações e interferências caso não seja conduzido com rigor metodológico. Nesse contexto, a norma ISO 3091 atua de maneira complementar à ISO 2918 — utilizada para a dosagem direta de nitrito —,

padronizando a redução via coluna de cádmio para garantir que a conversão seja quantitativa e reprodutível. O cumprimento estrito desses protocolos internacionais é o que mitiga a complexidade analítica da redução, assegurando a exatidão dos resultados finais.

O monitoramento desses íons é crucial para a saúde pública, pois, embora sejam usados como aditivos para conservação e para conferir cor e sabor, em excesso podem ser tóxicos e levar à formação de N-nitrosaminas, compostos com conhecido potencial carcinogênico. Para a determinação do nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), o método exige uma etapa prévia (ou póstuma, a depender da análise que será feita): a amostra é passada por uma coluna de redução, comumente de cádmio (Cd), que converte quimicamente o nitrato em nitrito. Subsequentemente, a análise de Griess-Ilosvay é realizada para medir o nitrito total (o nitrito original somado ao nitrito proveniente da redução do nitrato).

Em amostras de produtos cárneos, é necessário fazer uma etapa de clarificação de amostras, com função principal de precipitar proteínas, materiais corados, gorduras e outras substâncias que possam interferir no analito de interesse, nesse caso, nitrito e nitrato. Para isso, é necessário a utilização dos reagentes de Carrez. Os reagentes são: Carrez I: Ferrocianeto de potássio e Carrez II: Acetato de zinco.

Embora eficazes, os métodos que utilizam reagentes como o ferrocianeto de potássio (Carrez I) geram uma elevada quantidade de resíduos, que podem ser considerados tóxicos ou corrosivos.

#### **2.1.3.1.1 Preparo de amostras – clarificação com reagentes de Carrez**

O preparo adequado das amostras é determinante para a precisão analítica, visto que a matriz cárnea contém proteínas e lipídios que interferem na leitura espectrofotométrica. Para mitigar esses obstáculos, utiliza-se a clarificação com reagentes de Carrez, um procedimento consagrado que precipita interferentes. O Manual do Instituto Adolfo Lutz (2008) estabelece o uso de Carrez I: Ferrocianeto de potássio e Carrez II: Acetato de zinco como etapa essencial desse processo, fundamentado no princípio bioquímico descrito por Nelson e Cox (2014), no qual íons metálicos apresentam elevada afinidade por macromoléculas, favorecendo a formação de precipitados estáveis e limpando o meio para a análise. Outros dados da literatura apresentam o uso do reagente de Carrez como os mais utilizados (VELASCO-ARJONA, et al., 1998; KAZEMZADEH e ENSAFI, 2001).

A remoção de pigmentos específicos, como a mioglobina, é igualmente crítica, pois Aberle et al. (2001) destacam que essa proteína absorve luz em faixas que competem com o reagente de Griess, falseando a leitura. Além disso, a variabilidade entre diferentes cortes e processamentos exige rigorosa padronização. Conforme a norma ISO 2918 (1975), a clarificação da amostra é etapa chave para precipitar lipídios e colóides que causariam turbidez e interferência na espectrofotometria.

A execução deste protocolo exige controle de pH e temperatura para evitar a degradação dos analitos durante o manuseio, motivo pelo qual a metodologia oficial do MAPA (2002) se baseia em normas internacionais para prescrever rotinas padronizadas. A aplicação correta previne a subestimação dos resultados e assegura que a fração analisada representa fielmente a concentração de nitrito e nitrato no produto original.

#### **2.1.3.1.2 Vantagens e limitações**

Os métodos tradicionais de determinação, especialmente o método de Griess associado à espectrofotometria UV-Vis, são amplamente vantajosos devido à sua consolidação científica e robustez. Essa estabilidade é crucial para a indústria alimentícia e laboratórios oficiais, assegurando que os resultados sejam consistentes e comparáveis ao longo do tempo. Outras vantagens expressivas incluem a acessibilidade e a simplicidade operacional de técnicas colorimétricas (Instituto Adolfo Lutz (2008)), que não exigem equipamentos sofisticados, tornando o monitoramento de nitrito e nitrato viável para frigoríficos de todos os portes.

A força regulatória dos métodos tradicionais é reforçada pela sua padronização e documentação internacional (JECFA (2003), ISO 2918 (1975); ISO 3091 (1975)), o que é indispensável para a segurança alimentar. Essa uniformidade metodológica permite que diferentes laboratórios obtenham resultados semelhantes, independentemente da localidade, garantindo a comparabilidade e fortalecendo as políticas de fiscalização, o que é especialmente relevante para o setor cárneo brasileiro focado em exportações (Luna e Klein, 2015). A adoção de protocolos amplamente validados reduz divergências e facilita auditorias e certificações internacionais, conferindo maior credibilidade às avaliações sanitárias.

Apesar dos benefícios, os métodos oficiais apresentam limitações consideráveis, principalmente relacionadas à interferência da matriz alimentícia. A sensibilidade do método de Griess pode ser comprometida, pois pigmentos da carne, como a mioglobina, absorvem

em regiões do espectro que podem mascarar a leitura do complexo de Griess, levando a erros na superestimação ou subestimação da concentração (Aberle et al., 2001). Adicionalmente, a dependência da clarificação com reagentes de Carrez se apresenta como um ponto de vulnerabilidade, pois falhas nesse processo ou variações na composição da carne podem comprometer a extração, reduzindo a precisão (Nelson e Cox, 2014; Instituto Adolfo Lutz, 2008). Outro ponto fraco é que o método de Griess não quantifica nitrato diretamente, exigindo uma etapa prévia de redução, o que aumenta a complexidade e o potencial de erros sistemáticos (ISO 3091 (1975) ISO 2918(1975), além de possuir sensibilidade inferior à de técnicas instrumentais modernas como a eletroforese capilar (JECFA, 2003).

A fim de resumir as vantagens e limitações do método de Griess em associação com a espectrofotometria UV-Vis para a determinação de nitritos e nitratos, a tabela a seguir consolida os principais aspectos discutidos.

**Tabela 1** - Vantagens e limitações do método de Método de Griess – Espectrofotometria UV-Vis

<b>Vantagens</b>	<b>Limitações</b>
Técnicas colorimétricas possuem rapidez, baixo custo e versatilidade.	Sensibilidade inferior à de técnicas instrumentais modernas (cromatografia ou eletroforese capilar)
Acessibilidade expressiva; não exigem equipamentos sofisticados ou reagentes de alto custo.	Risco de interferência da matriz cárnea (mioglobina) na leitura espectrofotométrica, podendo mascarar a absorbância ou distorcer a concentração
Simplicidade operacional e praticidade para rotinas que demandam agilidade e padronização.	Dependência do processo de clarificação com reagentes de Carrez, que é um ponto de vulnerabilidade; falhas no preparo podem causar perda de nitrito, reduzindo a precisão.
Disponibilidade de protocolos regulamentados e documentados internacionalmente (MAPA, 2022) Uniformidade que garante a comparabilidade dos resultados entre diferentes laboratórios.	Não quantifica nitrato diretamente. Requer uma etapa prévia e adicional de redução de nitrato para nitrito, aumentando a complexidade analítica e o risco de erros sistemáticos.

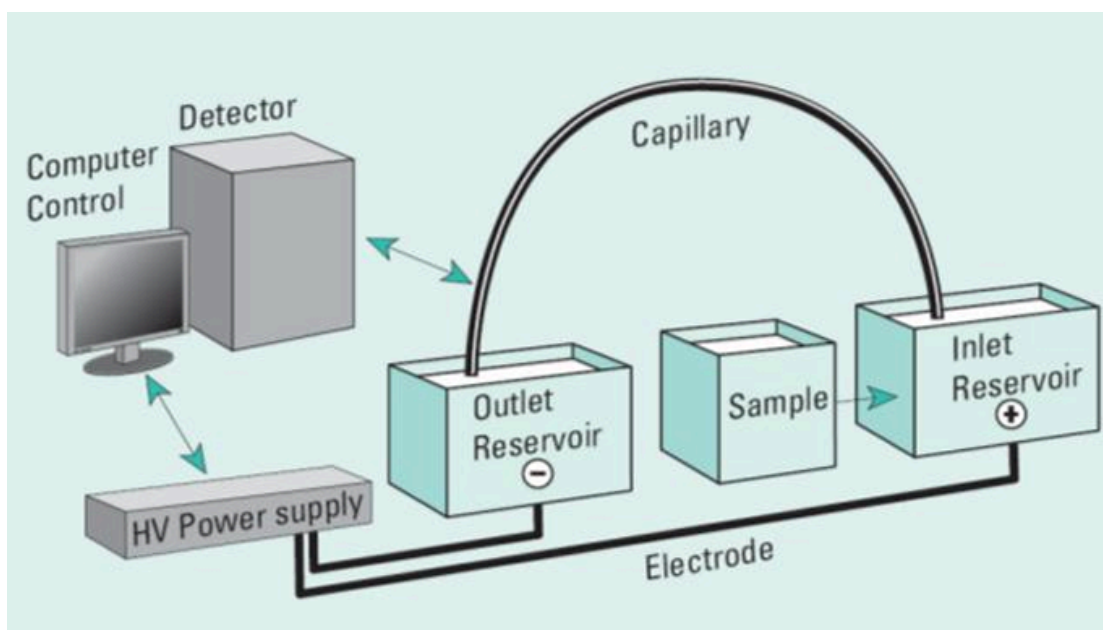
**Fonte:** Autoria própria (2025).

### 2.1.4 Determinação por eletroforese capilar de zona

A Eletroforese Capilar de Zona (CZE) consolidou-se como uma alternativa analítica moderna e eficiente, sendo avaliada e adotada como método oficial para a determinação de nitrito em produtos de origem animal no Brasil. A solidez do método está fundamentada em estudos de validação que atestam sua precisão e aplicabilidade em matrizes cárneas, como o trabalho desenvolvido por Della Betta et al. (2016), que demonstrou a alta sensibilidade da CZE para a análise de rotina. Em reconhecimento à sua robustez e às suas vantagens em relação a métodos tradicionais, a CZE foi formalmente incorporada ao Manual de Métodos Oficiais para Análise de Produtos de Origem Animal (BRASIL, 2022), conferindo-lhe o status de técnica de referência para o monitoramento de conformidade pelo Ministério da Agricultura.

Essa técnica baseia-se na separação dos íons presentes na solução através de um campo elétrico aplicado a um capilar de sílica fundida. Cada espécie química migra com velocidade própria, dependendo de seu tamanho, carga e interação com a parede do capilar. O resultado é uma separação eficiente e extremamente precisa, permitindo quantificações com limites de detecção muito inferiores aos métodos convencionais (DELLA BETTA et al., 2016). A instrumentação básica de um sistema de Eletroforese Capilar é apresentada esquematicamente na Figura 6.

**Figura 6** - Representação esquemática dos componentes de um sistema de Eletroforese Capilar



Fonte: Agilent Technologies (2025).

Nelson e Cox (2014), ao abordarem estruturas e interações moleculares, mostram que a mobilidade eletroforética de íons depende diretamente da relação entre carga e raio, o que explica por que nitrito e nitrato apresentam comportamentos distintos durante a corrida eletroforética. Assim, a eletroforese capilar consegue separá-los com elevada resolução sem exigir etapas químicas de redução, como ocorre no método de Griess. Isso representa uma vantagem significativa, já que elimina riscos de conversões incompletas e interferências decorrentes de reagentes redutores.

A eletroforese capilar também apresenta maior rapidez, já que a separação dos íons ocorre em poucos minutos. DELLA BETTA et al., (2016), ao demonstrarem os princípios das separações eletroforéticas, ao demonstrarem a aplicação de altos campos elétricos na análise de carnes, explicam que essa técnica acelera drasticamente a migração dos íons e reduz o alargamento de banda, resultando em alta eficiência sem comprometer a resolução. Isso permite que laboratórios executem um número elevado de análises em menos tempo, reduzindo custos operacionais.

Contudo, também existem limitações, Aberle et al. (2001) lembram que a matriz cárnea contém proteínas e lipídios que podem aderir às paredes do capilar, alterando sua carga superficial e afetando a migração dos íons. Por isso, o preparo da amostra ainda é fundamental como destacam Della Betta et al. (2016), e a clarificação se mantém como requisito indispensável para que o excesso de gordura não obstrua o capilar. Além disso, Nelson e Cox (2014) explicam que pequenos desvios de pH e força iônica influenciam drasticamente a velocidade eletroforética, tornando necessário o uso de tampões rigorosamente padronizados.

Outro ponto sensível é o custo. Equipamentos de eletroforese capilar são mais caros que espectrofotômetros UV-Vis, além de exigirem operadores capacitados. Luna e Klein (2015) observam que, em ambientes industriais, tecnologias de maior custo costumam ser adotadas apenas em laboratórios centrais, não sendo viáveis para pequenos frigoríficos. Contudo, essa limitação não diminui o valor da técnica, apenas restringe sua aplicação cotidiana.

Mesmo com desafios, a eletroforese capilar representa um avanço significativo na análise de nitrito e nitrato. Sua capacidade de fornecer resultados precisos, com mínima interferência e maior sensibilidade, complementa os métodos tradicionais e amplia as possibilidades de monitoramento, contribuindo para práticas industriais mais seguras e alinhadas às exigências sanitárias internacionais.

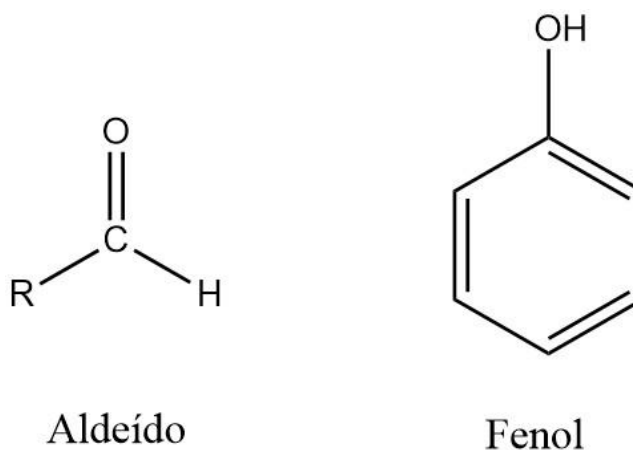
## 2.2 Alternativas naturais: óleos essenciais

Em resposta às limitações toxicológicas dos conservantes sintéticos e à crescente exigência por produtos 'Clean Label', os óleos essenciais emergem como alternativas promissoras no setor cárneo. Esta seção aborda o potencial desses extratos naturais, explorando desde sua relevância econômica e mecanismos de ação até as barreiras intrínsecas da matriz alimentar. Serão analisadas, ainda, as estratégias de aplicação tecnológicas disponíveis e seu impacto duplo na inibição da oxidação lipídica e na preservação das características sensoriais, fatores determinantes para a estabilidade e vida útil do alimento.

### 2.2.1 Potencial antimicrobiano e relevância no setor cárneo

A crescente busca por alternativas aos conservantes sintéticos, como nitrito e nitrato, impulsionou o uso de óleos essenciais na indústria cárnea, alinhando segurança alimentar às demandas por produtos de rótulo limpo. A eficácia desses compostos naturais reside em sua complexa composição química, que varia conforme a origem e o processamento da planta. Segundo Jay (2005), constituintes voláteis como fenóis, aldeídos (figura 7) e terpenos possuem alto potencial reativo e interagem com estruturas celulares, o que explica a potente ação antimicrobiana de óleos como orégano, tomilho e cravo ao interferirem na integridade e no metabolismo dos microrganismos.

**Figura 7** - Estruturas químicas de um aldeído e de um fenol



**Fonte:** Autoria própria (2025).

A aplicação desses agentes é estratégica diante da intrínseca suscetibilidade da carne à deterioração. Aberle et al. (2001) destacam que fatores como pH, atividade de água e temperatura criam condições ideais para a multiplicação bacteriana, exigindo barreiras de proteção. Esse cenário torna-se ainda mais crítico em formulações "mais saudáveis":

conforme alertam Karwowska e Kononiuk (2020), produtos cárneos processados com redução de conservantes sintéticos tornam-se significativamente mais vulneráveis à contaminação, necessitando de alternativas eficazes que não comprometam sua funcionalidade tecnológica.

Dessa forma, os óleos essenciais atuam como ferramentas versáteis — aplicáveis via incorporação direta ou embalagens ativas — no controle de riscos biológicos. Sua ação abrange tanto a inibição de patógenos associados a surtos graves, como *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes* e *Staphylococcus aureus*, quanto o controle de bactérias deteriorantes, como *Pseudomonas* spp., garantindo a estabilidade e a segurança sanitária tanto em produtos frescos quanto processados.

### **2.2.2 Mecanismos de ação e fatores de influência na matriz cárnea**

O principal mecanismo de ação antimicrobiana dos óleos essenciais reside na desestabilização da membrana celular. Embora Nelson e Cox (2014) expliquem que a bicamada lipídica é naturalmente impermeável a íons, ela é vulnerável a compostos hidrofóbicos que se inserem entre os fosfolípidios. No caso dos óleos de tomilho e orégano, autores como Lambert et al. (2001) demonstram que o timol e o carvacrol penetram nessa estrutura, aumentando a permeabilidade, causando o vazamento de constituintes vitais e levando a célula microbiana ao colapso.

Adicionalmente, compostos fenólicos atuam desnaturando enzimas envolvidas no transporte ativo de nutrientes. Bakkali et al. (2008) esclarecem que, ao comprometer essas proteínas essenciais, a célula perde a capacidade de manter gradientes eletroquímicos e a homeostase energética, tornando o ambiente hostil tanto para bactérias Gram-positivas quanto Gram-negativas. Em menor grau, compostos como eugenol e cinamaldeído também podem interagir com o DNA microbiano, prejudicando a replicação e transcrição, o que contribui para a eficácia geral, especialmente em combinações sinérgicas.

No entanto, a aplicação prática desses mecanismos na indústria enfrenta barreiras, pois a eficácia varia de acordo com as características intrínsecas do alimento. Burt (2004) destaca que a carne possui proteínas e lipídios que interagem com os compostos ativos dos óleos, reduzindo sua disponibilidade para atuar sobre os microrganismos — um fenômeno conhecido como "sequestro lipídico".

Fatores físico-químicos também são determinantes. O pH, por exemplo, modula a dissociação dos compostos: em ambientes ácidos, a hidrofobicidade aumenta, facilitando a

interação com a membrana bacteriana. Por outro lado, Burt (2004) alerta que a alta atividade de água na carne, embora favoreça a dispersão de nutrientes que aceleram a recuperação bacteriana, dificulta a ação dos óleos, exigindo concentrações maiores do que as usadas em testes laboratoriais para superar essa proteção natural do microrganismo. Devido a essas variáveis e à volatilidade dos compostos — especialmente em produtos cozidos —, estratégias como encapsulamento, nanoemulsões ou o uso de embalagens ativas tornam-se fundamentais para garantir a estabilidade e o desempenho antimicrobiano desejado.

### **2.2.3 Estratégias de aplicação**

A aplicação dos óleos essenciais na indústria cárnea pode ocorrer de diferentes formas, cada uma com vantagens e desafios. A incorporação direta na massa cárnea é a estratégia mais comum, permitindo contato pleno entre os compostos antimicrobianos e a matriz alimentar. Entretanto, sua intensidade aromática pode provocar alterações sensoriais perceptíveis. Pateiro et al. (2018) explicam que compostos aromáticos possuem elevada volatilidade, o que justifica tanto sua eficácia antimicrobiana quanto o impacto sensorial que provocam.

Outra estratégia envolve a aplicação superficial, especialmente útil para produtos deterioráveis como carnes frescas embaladas. Nesse caso, os óleos funcionam como uma barreira natural contra microrganismos ambientais. Atarés e Chiralt (2016) comentam que superfícies cárneas são áreas críticas de contaminação e que agentes naturais que interfiram na adesão bacteriana reduzem significativamente a deterioração.

Métodos mais modernos incluem o uso de nanoencapsulamento, emulsões estáveis e embalagens bioativas. Luna e Klein (2015) observam que a modernização tecnológica do setor cárneo brasileiro segue tendências internacionais, com crescente interesse em soluções inovadoras que combinem segurança e sustentabilidade. O encapsulamento, por exemplo, controla a liberação gradativa dos compostos, prolongando sua ação e diminuindo o impacto no aroma e sabor.

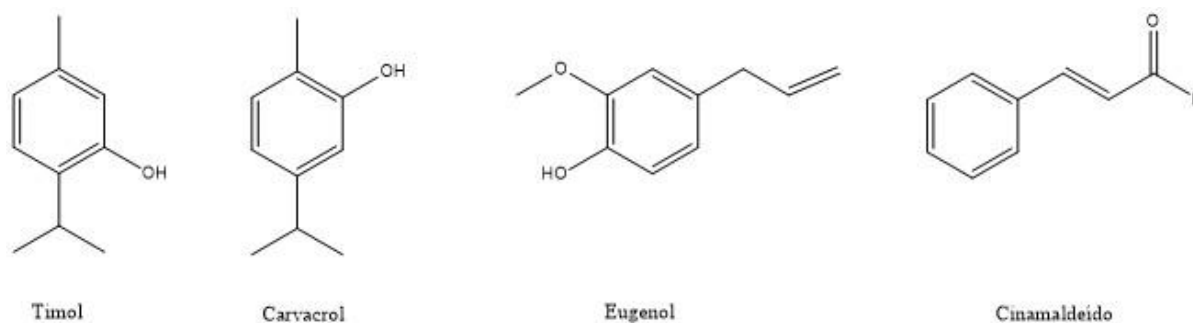
### **2.2.4 Atividade antioxidante e inibição da oxidação lipídica**

A ação antioxidante dos óleos essenciais representa um dos pontos mais críticos na conservação de produtos cárneos, uma vez que a oxidação lipídica é o principal mecanismo

não microbiano de deterioração da qualidade. Aberle et al. (2001) destacam que os lipídios presentes nos tecidos musculares, especialmente os poli-insaturados, são altamente instáveis e oxidam-se com facilidade quando expostos ao oxigênio, luz e calor. Esse processo gera compostos como aldeídos e cetonas, responsáveis pelo desenvolvimento de odores rancificados e pela perda de cor e valor nutricional.

A eficácia dos óleos essenciais em retardar essa degradação deve-se à sua estrutura química, rica em compostos fenólicos, terpenos e aldeídos. Nelson e Cox (2014) explicam que moléculas contendo anéis aromáticos e grupos hidroxila possuem grande capacidade de doar elétrons a radicais livres instáveis, estabilizando-os e interrompendo a reação em cadeia (fase de propagação). Essa propriedade torna constituintes como timol, eugenol, carvacrol e cinamaldeído (figura 8) excelentes antioxidantes primários.

**Figura 8** – Estruturas químicas do timol, carvacrol, eugenol e cinamaldeído.



**Fonte:** Autoria própria (2025).

Além da doação de elétrons, alguns óleos atuam por mecanismos secundários, como a quelação de metais. A carne contém naturalmente ferro (heme e não heme) que, segundo Estévez (2011), atua como um potente catalisador na formação de radicais hidroxila. Ao sequestrar esses íons metálicos, os óleos essenciais reduzem a velocidade das reações oxidativas iniciais.

Essa proteção é particularmente vital em produtos processados. Domínguez et al. (2019) observam que itens com alto teor de gordura e maior manipulação, como linguiças e hambúrgueres, são significativamente mais vulneráveis à oxidação. A situação agrava-se em produtos cozidos, pois, conforme ressaltam Nelson e Cox (2014), o calor acelera a quebra de ligações insaturadas nos ácidos graxos. Assim, a incorporação de óleos essenciais atua como uma barreira dupla — química e tecnológica —, preservando as características sensoriais e estendendo a vida útil do produto final.

### 2.2.5 Preservação sensorial, estabilidade e vida útil

A manutenção da cor e do aroma é determinante para a aceitação comercial da carne, sendo a oxidação o principal fator de depreciação desses atributos. Aberle et al. (2001) explicam que pigmentos como a mioglobina são extremamente suscetíveis à oxidação, transformando-se em metamioglobina, responsável por tonalidades acastanhadas indesejáveis. Esse processo, acelerado por radicais livres, ocorre paralelamente à oxidação lipídica, que gera compostos voláteis de odor desagradável, como o hexanal. Segundo Shahidi e Zhong (2010), esses aldeídos secundários são os principais marcadores do "ranço", comprometendo irreversivelmente o perfil aromático do produto.

Nesse contexto, a aplicação de óleos essenciais atua como uma barreira protetora dupla: estabiliza a cor avermelhada ao reduzir os radicais livres que atacam o pigmento heme e preserva o aroma original ao bloquear a formação de voláteis da degradação lipídica. No entanto, o uso desses extratos exige equilíbrio tecnológico. Nelson e Cox (2014) ressaltam que os terpenos e compostos fenólicos possuem alta volatilidade, o que, se não controlado, pode transferir sabores residuais intensos ao alimento. Por isso, estratégias como o encapsulamento e nanoemulsões tornam-se essenciais para liberar os ativos antioxidantes de forma controlada, sem alterar a identidade sensorial do produto cárneo.

Essa preservação da integridade química e sensorial reflete-se diretamente na extensão da vida útil (*shelf life*). Falowo et al. (2014) observam que a demanda moderna por produtos "Clean Label" (rótulo limpo) pressiona a indústria a substituir aditivos sintéticos por naturais que garantam a mesma segurança. Ao retardar as reações oxidativas e microbianas, os óleos essenciais mantêm a textura firme e a estabilidade físico-química por períodos prolongados, atendendo à exigência de consumidores que buscam, simultaneamente, conveniência, longa durabilidade e ausência de conservantes artificiais.

## 2.3 Discussão aplicada

Após a análise individualizada dos mecanismos de ação dos conservantes sintéticos e das alternativas naturais, torna-se imperativo examinar a viabilidade técnica de sua aplicação integrada na indústria cárnea. Discute-se como essa convergência atende aos requisitos de segurança sanitária, controle de qualidade e legislação brasileira, alinhando-se à competitividade do setor e à tendência *clean label*.

### 2.3.1 Integração de estratégias: conservantes sintéticos, naturais e a redução parcial de nitrito

A utilização de conservantes sintéticos, como nitrito e nitrato, permanece uma base histórica na indústria cárnea devido à sua eficácia em garantir a segurança microbiológica e a qualidade visual dos produtos. Aberle et al. (2001) explicam que o nitrito é indispensável para a fixação da cor e possui ação decisiva contra patógenos letais como o *Clostridium botulinum*. Contudo, o uso desses aditivos enfrenta escrutínio toxicológico, uma vez que o JECFA (2003) alerta para os riscos associados à formação de nitrosaminas carcinogênicas, além da necessidade de controle rigoroso devido à reatividade química desses compostos frente a variações de pH e temperatura.

Em contrapartida, os óleos essenciais emergem como alternativas naturais alinhadas à tendência de rótulos limpos ("clean label"). A eficácia desses compostos reside em sua natureza lipofílica, que, segundo Burt (2004), permite a desorganização das membranas celulares bacterianas e a desnaturação de proteínas. Adicionalmente, possuem capacidade antioxidante que auxilia na preservação da cor e no retardo da oxidação lipídica, atuando em frentes complementares à conservação tradicional.

No entanto, a substituição total dos sintéticos pelos naturais impõe barreiras tecnológicas significativas. Magalhães, Neto e Silva (2018) apontam que a matriz cárnea, rica em proteínas e lipídios, pode reduzir a biodisponibilidade dos óleos, enquanto Hyldgaard et al. (2012) destacam que as concentrações necessárias para atingir eficácia antimicrobiana podem gerar aromas intensos, superando o limite de aceitação sensorial do consumidor. Para mitigar esses efeitos, tecnologias como o microencapsulamento (Donsì et al., 2011) são estudadas para controlar a liberação dos compostos e mascarar odores indesejáveis.

Diante dessas limitações, a estratégia mais promissora é a redução parcial do nitrito combinada ao uso de óleos essenciais como coadjuvantes, conforme revisado por Karwowska e Kononiuk (2020). Essa abordagem híbrida respeita o fato, ressaltado por Honikel (2008), de que o nitrito é insubstituível na inibição eficaz do *Clostridium botulinum*, mas utiliza os óleos para reforçar a barreira contra outros microrganismos deterioradores e para potencializar a proteção antioxidante, compensando a diminuição da carga sintética.

Essa integração resulta em benefícios diretos para a segurança química e a saúde pública. Ao reduzir a concentração inicial de nitrito, diminui-se proporcionalmente a disponibilidade de espécies nitrogenadas reativas, reduzindo o risco de formação de nitrosaminas, o que está em conformidade com as diretrizes de segurança do JECFA (2003).

Assim, obtém-se um produto que atende às demandas por naturalidade sem sacrificar a proteção sanitária fundamental.

A segurança do alimento não depende de um único agente, mas da soma de obstáculos, como a combinação de nitrito reduzido, óleos essenciais, controle de pH e refrigeração. Essa abordagem multifatorial exige monitoramento constante das interações na matriz cárnea, garantindo um equilíbrio técnico que assegure estabilidade, segurança e qualidade sensorial.

### **2.3.2 Controle de qualidade e monitoramento de resíduos**

O controle de qualidade de nitrito e nitrato em produtos cárneos exige rigor analítico extremo devido à complexidade da matriz alimentar, onde proteínas e lipídios podem atuar como interferentes na quantificação dos resíduos. Aberle et al. (2001) destacam que a precisão dos métodos depende de um preparo de amostra adequado e do controle de pH, enquanto a alta reatividade química do nitrito impõe a necessidade de monitoramento contínuo ao longo da vida útil do produto. Como esses conservantes sofrem reações de redução e oxidação durante o armazenamento, análises isoladas no momento da fabricação são insuficientes para garantir que os teores residuais permaneçam dentro dos limites de segurança e eficácia.

Esse monitoramento é balizado por normas legislativas fundamentadas em avaliações toxicológicas, como as do JECFA (2003), que estabelecem a Ingestão Diária Aceitável (IDA) para prevenir riscos à saúde. Contudo, a adequação aos limites legais não deve comprometer a segurança microbiológica, visto que o nitrito permanece como a principal barreira contra o *Clostridium botulinum*. Nesse sentido, Magalhães, Neto e Silva (2018) e Luna e Klein (2015) reforçam que a indústria deve adotar sistemas de rastreabilidade e Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC), assegurando que a redução de aditivos seja baseada em evidências científicas e documentada em todas as etapas do processamento.

Por fim, a incorporação de óleos essenciais como coadjuvantes introduz novas variáveis ao controle de qualidade, exigindo adaptação dos protocolos analíticos. Pateiro et al. (2018) alertam que a volatilidade e as interações químicas desses compostos naturais podem influenciar a estabilidade oxidativa e a matriz alimentar, tornando indispensável o uso de instrumentação sensível, como cromatografia líquida de alta eficiência e espectrofotometria, para monitorar essas alterações. O domínio dessas técnicas permite quantificar com precisão tanto a eficácia dos conservantes naturais quanto os níveis residuais

dos sintéticos, garantindo um produto final que equilibre inovação tecnológica, aceitação sensorial e rigorosa segurança alimentar.

### 2.3.3 Perspectivas para a indústria brasileira e cenário regulatório

A indústria cárnea brasileira ocupa uma posição de protagonismo no cenário mundial, sustentada por uma vasta capacidade produtiva e um reconhecido padrão de qualidade. No entanto, para manter essa competitividade e responder às demandas contemporâneas por alimentos mais naturais e transparentes, o setor enfrenta o desafio de alinhar sua tradição tecnológica às novas tendências de consumo, como o movimento *clean label*. A convergência entre a eficiência produtiva e a inovação — especificamente na redução de conservantes sintéticos e na incorporação de alternativas naturais — representa uma oportunidade estratégica para o Brasil consolidar sua liderança global, atendendo simultaneamente às expectativas de *stakeholders* e consumidores exigentes.

Esse avanço tecnológico, contudo, deve estar estritamente alicerçado em um arcabouço legal sólido. No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) estabelecem os limites máximos para o uso de nitrito e nitrato, baseando-se em parâmetros toxicológicos internacionais, como a Ingestão Diária Aceitável (IDA) definida pelo JECFA (2003). A conformidade com essas normas é o pilar que garante não apenas a segurança do consumidor doméstico, mas também o acesso a mercados internacionais rigorosos. Portanto, a modernização do setor passa necessariamente pela harmonização entre as novas tecnologias de conservação e a legislação vigente.

Nesse contexto, a adaptação regulatória torna-se um diferencial competitivo. Diretrizes globais, como as do *Codex Alimentarius*, têm estimulado práticas de rotulagem mais claras e a limitação de aditivos, impulsionando a indústria a buscar soluções que reduzam a dependência química sem ferir as normas sanitárias. Luna e Klein (2015) enfatizam que a modernização dos frigoríficos brasileiros e sua capacidade de exportação estão diretamente ligadas à adoção de práticas que atendam a essas exigências internacionais. Assim, a indústria que deseja atingir mercados valorizados deve encarar a legislação não como um entrave, mas como um guia para a implementação segura de sistemas híbridos de conservação, unindo a segurança dos sais de cura à inovação dos compostos naturais.

### 2.3.4 Segurança do consumidor e a tendência "clean label"

A segurança do consumidor permanece como o pilar central de qualquer inovação tecnológica no setor alimentício. Qualquer reformulação que envolva a redução de nitrito ou sua substituição parcial deve, obrigatoriamente, manter intactos os parâmetros microbiológicos e toxicológicos. A presença do conservante sintético na indústria cárnea não se justifica apenas por questões tecnológicas, mas sobretudo por razões de proteção sanitária — com destaque para o controle de *Clostridium botulinum*, conforme ressaltado por Aberle et al. (2001). Portanto, a adoção de óleos essenciais como coadjuvantes, embora promissora, exige validações rigorosas que monitorem não apenas a eficácia antimicrobiana e antioxidante, mas também a interação desses compostos com as etapas de processamento e a estabilidade do produto final.

Paralelamente à segurança técnica, cresce a demanda pela transparência e pela naturalidade, consolidada na tendência "*clean label*". Magalhães, Neto e Silva (2018) explicam que esse movimento busca listas de ingredientes mais simples e inteligíveis, refletindo a exigência por produtos mais sustentáveis e com menor carga de aditivos artificiais. No cenário nacional, Silva et al. (2021) apontam que os consumidores brasileiros estão cada vez mais atentos a esses rótulos, valorizando a clareza da informação. Para a indústria, isso representa um desafio duplo: reformular produtos mantendo a vida útil e a aceitação sensorial, ao mesmo tempo em que se aproveita a oportunidade competitiva de diferenciar-se no mercado global através da qualidade percebida.

Nesse contexto, os óleos essenciais atuam como o elo entre a segurança necessária e a naturalidade desejada. Sua aplicação, suportada por tecnologias como o microencapsulamento e embalagens ativas, permite a redução dos níveis de nitrito sem comprometer a barreira sanitária. Luna e Klein (2015) reforçam que a modernização do setor cárneo brasileiro passa justamente pela adoção dessas inovações tecnológicas. A indústria que conseguir equilibrar a proteção rigorosa contra patógenos com a oferta de produtos de rótulo limpo estará melhor posicionada para atender tanto às regulações sanitárias quanto às expectativas de um mercado consumidor em transformação.

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo sobre a conservação de produtos cárneos revelou a complexidade envolvida no equilíbrio entre segurança alimentar, estabilidade do produto e atendimento às exigências crescentes dos consumidores por rótulos mais transparentes e formulações mais naturais. A utilização de nitrito e nitrato como conservantes sintéticos continua sendo fundamental para garantir proteção microbiológica, especialmente no controle de microrganismos de alto risco. Ao mesmo tempo, a ampliação do conhecimento científico sobre seus efeitos toxicológicos e limites de segurança reforça a importância de um uso criterioso e de métodos analíticos que assegurem quantificações precisas. A preservação da funcionalidade desses compostos, sem ultrapassar limites legais, exige um controle de qualidade rigoroso e contínuo, que abrange desde o recebimento da matéria-prima até o produto final.

A pesquisa também evidenciou que alternativas naturais, como os óleos essenciais, têm conquistado espaço como estratégias promissoras para apoiar a redução parcial dos sais de cura. Embora não substituam completamente o papel dos conservantes sintéticos, apresentam mecanismos que reforçam a proteção antimicrobiana e antioxidante, contribuindo para a estabilidade de cor, aroma e textura. A combinação entre nitrito reduzido e compostos naturais representa uma possibilidade real e viável para atender à demanda por produtos mais saudáveis e alinhados à tendência “clean label”. No entanto, essa abordagem requer validação científica, padronização de concentrações e adequação às características tecnológicas de cada categoria de produto cárneo.

Por fim, ficou claro que o futuro da indústria brasileira de produtos cárneos passa pelo aperfeiçoamento de seus processos, pelo fortalecimento do monitoramento de resíduos e pela incorporação de tecnologias que tornem a produção mais segura, sustentável e competitiva. Investimentos em pesquisa, capacitação técnica, equipamentos analíticos e rotinas de rastreabilidade serão determinantes para apoiar esse avanço. A integração entre inovação natural, legislação atualizada e práticas de controle bem estruturadas permitirá ao setor responder às exigências de mercado sem comprometer a segurança do consumidor. Dessa forma, a construção de produtos cárneos mais modernos, seguros e transparentes torna-se um caminho possível e necessário para fortalecer a posição do Brasil no cenário global.

## 4 REFERÊNCIAS

ABERLE, E. D. et al. **Principles of meat science**. 4. ed. Dubuque: Kendall/Hunt Publishing Company, 2001.

AGILENT TECHNOLOGIES. **Agilent 7100 Capillary Electrophoresis System**: integrated CE-MS solutions. [S. l.]: Agilent Technologies, [s.d.]. Disponível em: [https://lcms.cz/labrulez-bucket-strap-h3hsga3/Agilent\\_7100\\_Integrated\\_CEMS\\_solutions\\_9ddd47f817/Agilent-7100-Integrated-CEMS-solutions.pdf](https://lcms.cz/labrulez-bucket-strap-h3hsga3/Agilent_7100_Integrated_CEMS_solutions_9ddd47f817/Agilent-7100-Integrated-CEMS-solutions.pdf). Acesso em: 02 nov. 2025.

ALAHKOON, A. U. et al. Alternatives to nitrite in processed meat: up to date. **Trends in Food Science & Technology**, v. 45, n. 1, p. 37-49, 2015.

ATARÉS, L.; CHIRALT, A. Essential oils as additives in biodegradable films and coatings for active food packaging. **Trends in Food Science & Technology**, v. 48, p. 51-62, 2016.

BAKKALI, F. et al. Biological effects of essential oils: a review. **Food and Chemical Toxicology**, v. 46, n. 2, p. 446-475, 2008.

BIESALSKI, H. K. Role of red meat in the diet: nutrition and health benefits. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 73, n. 1, p. 33-37, 2014.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Métodos oficiais para análise de produtos de origem animal**. 1. ed. Brasília, DF: MAPA, 2022.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Aditivos alimentares e coadjuvantes de tecnologia**. Brasília, DF, atualizado em 14 out. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/setorregulado/regularizacao/alimentos/aditivos-alimentares>. Acesso em: 10 dez. 2025.

BURT, S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods: a review. **International Journal of Food Microbiology**, v. 94, n. 3, p. 223-253, 2004.

CAMPOLINA, G. A. et al. Óleos essenciais como conservantes naturais em produtos cárneos: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 3, e4512340368, 2023.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Química de alimentos de Fennema**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2019.

DELLA BETTA, F. et al. A sub-minute CZE method to determine nitrate and nitrite in meat products: an alternative for routine analysis. **Meat Science**, v. 119, p. 62-68, 2016.

DOMÍNGUEZ, R. et al. A comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products. **Antioxidants**, v. 8, n. 10, p. 429, 2019.

DONSÌ, F. et al. Nanoencapsulation of essential oils to enhance their antimicrobial activity in foods. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, n. 9, p. 1908-1914, 2011.

EFSA PANEL ON FOOD ADDITIVES AND NUTRIENT SOURCES ADDED TO FOOD (ANS). Re-evaluation of potassium nitrite (E 249) and sodium nitrite (E 250) as food additives. **EFSA Journal**, v. 15, n. 6, p. 4786, 2017.

ESTÉVEZ, M. Protein carbonyls in meat systems: a review. **Meat Science**, v. 89, n. 3, p. 259-279, 2011.

FABRIS, B. T.; JOÃO, J. J.; BORGES, E. M. Quantificação de Nitrito em Água Utilizando um Scanner de Mesa. **Revista Virtual de Química**, v. 12, n. 3, p. 569-582, 2020.

FALOWO, A. B. et al. Lipid oxidation in meat: mechanisms and protective factors – a review. **Food Research International**, v. 62, p. 962-975, 2014.

HONIKEL, K. O. The use and control of nitrate and nitrite for the processing of meat products. **Meat Science**, v. 78, n. 1-2, p. 68-76, 2008.

HORD, N. G.; TANG, Y.; BRYAN, N. S. Food sources of nitrates and nitrites: the physiologic context for potential health benefits. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 90, n. 1, p. 1-10, 2009.

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, p. 12, 2012.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: IAL, 2008.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 2918**: Meat and meat products — Determination of nitrite content (Reference method). Geneva: ISO, 1975.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 3091**: Meat and meat products — Determination of nitrate content (Reference method). Geneva: ISO, 1975.

IRON. In: JOINT FAO/WHO EXPERT COMMITTEE ON FOOD ADDITIVES (JECFA). **Safety evaluation of certain food additives and contaminants**. Geneva: WHO, 2003. (WHO Food Additives Series, 50). Disponível em: <https://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v50je07.htm>. Acesso em: 14 out. 2025.

JAY, J. M.; LOESSNER, M. J.; GOLDEN, D. A. **Modern food microbiology**. 7. ed. New York: Springer, 2005.

JAYASENA, D. D.; JO, C. Essential oils as potential antimicrobial agents in meat and meat products: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 34, n. 2, p. 96-108, 2013.

KARWOWSKA, K.; KONONIUK, A. Nitrates/nitrites in food: risk for nitrosative stress and benefits. **Antioxidants**, v. 9, n. 3, p. 241, 2020.

KAZEMZADEH, A.; ENSAFI, A. A. Simultaneous determination of nitrite and nitrate in various samples using flow-injection spectrophotometric detection. **Microchemical Journal**, v. 69, p. 159-166, 2001.

KLAASSEN, C. D. (org.). **Casarett & Doull: toxicologia, a ciência básica dos venenos**. 8. ed. Rio de Janeiro: McGraw-Hill Education, 2013.

LAMBERT, R. J. W. et al. A study of the minimum inhibitory concentration and mode of action of oregano essential oil, thymol and carvacrol. **Journal of Applied Microbiology**, v. 91, n. 3, p. 453-462, 2001.

LI, Y.; LI, D. The role of red meat in a healthy diet: a review. **Foods**, v. 12, n. 8, p. 1568, 2023.

LUDLOW, J. T.; WILKERSON, R. G.; NAPPE, T. M. **Methemoglobinemia**. Treasure Island: StatPearls Publishing, 2023. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK537317/>. Acesso em: 22 nov. 2025.

LUNA, F. V.; KLEIN, H. S. A evolução da pecuária bovina no Brasil. In: SAES, F. A. M.; COUTO, R. (org.). **História econômica do Brasil em perspectiva**. São Paulo: Edusp, 2015.

MAGALHÃES, A. D. M.; SILVA NETO, A. P.; SILVA, S. L. Red meat consumption and human health: a review of the current evidence. **Meat Science**, v. 143, p. 294-301, 2018.

MANCINI, R. A.; HUNT, M. C. Current research in meat color. **Meat Science**, v. 71, n. 1, p. 100-121, 2005.

MUNEKATA, P. E. S. et al. Effect of natural antioxidants on the quality of meat products. **Current Opinion in Food Science**, v. 38, p. 1-7, 2021.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de bioquímica de Lehninger**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2014.

OLIVEIRA, C.; BARRERA-ARELLANO, D.; DOMENE, S. Ácidos graxos poli-insaturados ômega-3 e ômega-6: importância e ocorrência em alimentos. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 23, n. 6, p. 1031-1040, 2010.

ORDÓÑEZ, J. A. et al. **Tecnologia de alimentos: alimentos de origem animal**. Porto Alegre: Artmed, 2005. v. 2.

PASCOAL, R. A.; JÚNIOR, F. L.; ALMEIDA, R. G. Nitrosaminas em produtos cárneos: panorama regulatório e alternativas tecnológicas. **Revista de Ciência dos Alimentos**, São Paulo, v. 15, n. 4, p. 1-15, 2023. Disponível em: [Link]. Acesso em: 21 nov. 2025.

PATEIRO, M. et al. Essential oils as natural additives to improve the shelf life of meat products. **Current Opinion in Food Science**, v. 24, p. 102-110, 2018.

PINELLI, F. et al. Green analytical methods for the determination of nitrites and nitrates in food matrices. **Current Opinion in Food Science**, v. 41, p. 172-180, 2021.

PRICE, J. F.; SCHWEIGERT, B. S. **Ciência de la carne y de los productos cárnicos**. Zaragoza: Acribia, 1994.

RIVERA, D.; BUNNING, M.; MARTIN, S. E. **Nitrite and nitrate in cured meats**. Fort Collins: Colorado State University Extension, 2019. (Fact Sheet n. 9.382). Disponível em: <https://extension.colostate.edu>. Acesso em: 21 nov. 2025.

ROÇA, R. O. **Cura de carnes**. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, [s.d.]. (Apostila de Tecnologia de Carne e Produtos Derivados). Disponível em: <https://www.fca.unesp.br/Home/Instituicao/Departamentos/Gestaoetecnologia/Teses/Roca111.pdf>.

RODRIGUES, F. M. et al. The role of lipids in meat quality and human health: current perspectives. **Meat Science**, v. 203, p. 109234, 2023.

SHAHIDI, F.; ZHONG, Y. Lipid oxidation and improving the oxidative stability. **Chemical Society Reviews**, v. 39, n. 11, p. 4067-4079, 2010.

SHAKIL, M. H. et al. Nitrites in cured meat products: chemical properties, toxicity, and replacement alternatives. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 21, n. 5, p. 4137-4160, 2022.

SILVA, A. C. et al. Consumo de carne vermelha e sua relação com a saúde. **Brazilian Journal of Health Review**, Curitiba, v. 4, n. 2, p. 5961-5975, 2021.

SILVA, Everton da Paz. **Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ )**. *Manual da Química*, [s.d.]. Disponível em: <https://www.manualdaquimica.com/quimica-inorganica/nitrato-no.htm>. Acesso em: 02 nov. 2025.

SKOOG, D. A. et al. **Fundamentos de química analítica**. Tradução de Valdemar Lacerda. 8. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

TOMOVIĆ, V. M. et al. Plant extracts and essential oils as natural nitrite replacers in meat products. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 333, p. 012034, 2020.

VELASCO-ARJONA, A. et al. Full automated robotic method for the determination of chloride, nitrite and nitrate in cured meat products. **Talanta**, v. 46, p. 969-976, 1998.

WESTIN, E. C. **O que são nitrosaminas?** [S. l.]: Science Consult, [2024?]. Disponível em: <https://scienceconsult.com.br/o-que-sao-nitrosaminas/>. Acesso em: 02 nov. 2025.

WRANGHAM, R. **Pegando fogo**: por que cozinhar nos tornou humanos. Rio de Janeiro: Zahar, 2010.

YU, D.; CHIN, Y.-W.; PAIK, H.-D. Application of natural preservatives for meat products against foodborne pathogens and spoilage bacteria: a review. **Foods**, v. 10, n. 10, p. 2418, 2021.

ZHANG, Y. et al. Current trends in the reduction of nitrite use in meat products. **Food Chemistry**, v. 406, p. 135055, 2023.