




APLICAÇÃO DE TÉCNICAS ESPECTROSCÓPICAS (NIR E RAMAN) NA INSPEÇÃO NÃO DESTRUTIVA DE CARNES E LEITE: AVANÇOS PARA A SEGURANÇA E QUALIDADE DOS PRODUTOS DE ORIGEM ANIMAL

 <https://doi.org/10.56238/isevmjv4n3-008>

Recebimento dos originais: 13/04/2025

Aceitação para publicação: 13/05/2025

Alice Leder St John

Graduanda de Medicina Veterinária
Universidade Federal de Santa Catarina
E-mail: alicelederstjohn8@gmail.com

Ana Paula de Moura Nardi

Graduanda em Medicina Veterinária
Faculdade Cristo Rei
E-mail: apdemouranardi@gmail.com

Maria Meijerink Gomes

Graduanda em Medicina Veterinária
Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais
E-mail: mariameijgomes@gmail.com

Elizabeth Aciole Torchia da Silva

Graduanda em Medicina Veterinária
Centro universitário Brasileiro- UNIBRA
E-mail: elizabethaciole.nutri@gmail.com

Daniella Cristina Menezes Mota

Graduada em Medicina Veterinária
Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM
E-mail: daniella.menezesm@gmail.com

Eduarda Delorto Sá

Graduanda em Medicina Veterinária
Instituto Federal do Norte de Minas Gerais- IFNMG
E-mail: dudadelorto.00@gmail.com

Emylly Ravelly Lima Marinho

Graduanda em Medicina veterinária
Universidade Federal de Roraima
E-mail: emyllyrlmarinho@gmail.com

Graziele Alves de Carvalho

Graduanda em Medicina Veterinária
Instituto Master de Ensino Presidente Antônio Carlos – IMEPAC
E-mail: graziele.carvalho@aluno.imepac.edu.br



David Wesley Moreira Sampaio
Graduando em Medicina Veterinária
Universidade da Amazônia – Unama
E-mail: davidsampaioedvet@gmail.com

Valéria Cristina da Silva
Centro Universitário Brasileiro (UNIBRA)
Graduada em medicina veterinária
E-mail: valeriacsilva2904@gmail.com

Stefanie Vitória Ferreira Dorneles
Graduada em Medicina Veterinária
Instituto Master de Ensino Presidente Antônio Carlos – IMEPAC
E-mail: stefaniedorneles123@gmail.com

João Paulo Yoshio Prado Cerqueira Kubota
Doutorando em Ciência Animal
Universidade Federal de Goiás
E-mail: jpyoshiok@gmail.com

Apolônia Agnes Vilar de Carvalho Bulhões
Graduação em Medicina Veterinária; Doutorado em Ciência Veterinária
Universidade Federal Rural de Pernambuco
E-mail: agnes.carvalho.14@gmail.com

Mateus de Melo Lima Waterloo
Doutorando em Medicina Veterinária (Clínica e Reprodução Animal)
Universidade Federal Fluminense
E-mail: mateuswaterloo@icloud.com

RESUMO

Objetivo: Revisar os avanços e aplicações das técnicas espectroscópicas NIR e Raman na inspeção não destrutiva de carnes e leite, destacando sua relevância para a Medicina Veterinária, segurança alimentar e prevenção de fraudes. A adulteração de alimentos de origem animal representa um desafio crescente para os serviços de inspeção, exigindo métodos analíticos rápidos, sensíveis e sustentáveis. Esta revisão baseou-se em artigos científicos, dissertações e teses publicadas entre 2010 e 2024, que abordam o uso de espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) e espectroscopia Raman em alimentos, com ênfase na integração com ferramentas quimiométricas. Os resultados demonstram que a NIR é eficaz na predição da composição centesimal de carnes e leite, enquanto a espectroscopia Raman apresenta alta especificidade para análise de matrizes úmidas. A associação dessas técnicas com métodos multivariados, como PCA e PLS-DA, permite detectar adulterações com acurácia superior a 90%. A miniaturização de espectrômetros e o uso de equipamentos portáteis tornam essas tecnologias aplicáveis em tempo real na rotina de inspeção sanitária. Conclui-se que a espectroscopia, aliada à quimiometria, representa uma inovação estratégica para o controle de qualidade de produtos de origem animal, reforçando o papel do médico-veterinário na garantia da segurança alimentar.

Palavras-chave: Espectroscopia alimentar. Inspeção não destrutiva. Quimiometria. Detecção de fraudes. Segurança alimentar.

1 INTRODUÇÃO

A adulteração de alimentos de origem animal, como carnes e leite, representa uma das principais preocupações da inspeção sanitária moderna. Práticas fraudulentas, como a adição de água, sais, colágeno, carragena e amidos, têm como objetivo elevar o valor comercial dos produtos, prejudicando sua composição nutricional e colocando a saúde dos consumidores em risco (Nunes, 2015). Estes comportamentos infringem normas éticas e legais, desafiando os sistemas de controle de qualidade e rastreabilidade ao longo da cadeia de produção.

Para enfrentar esse cenário, tem se intensificado o uso de métodos analíticos não destrutivos, rápidos e de alta sensibilidade, capazes de detectar fraudes com precisão. Dentre as técnicas, a espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) e a espectroscopia Raman se sobressaem, ambas empregadas na avaliação qualitativa e quantitativa da composição de alimentos de origem animal (Ferreira, 2013; Brunetti & Stanke Filho, 2024).

A espectroscopia do infravermelho próximo é sensível a ligações químicas como O-H, N-H e C-H, presentes em proteínas, lipídios e água, sendo eficiente na previsão da composição centesimal de carnes e leite (Ferreira, 2013). Por outro lado, a espectroscopia Raman, que utiliza o espalhamento inelástico da luz, proporciona alta especificidade molecular e é pouco influenciada pela presença de água, tornando-a perfeita para matrizes úmidas como leite em estado bruto e carne fresca (Brunetti & Stanke Filho, 2024). As duas técnicas se tornam ainda mais robustas quando combinadas com a quimiometria, utilizando modelos multivariados como PCA (Análise de Componentes Principais) e PLS-DA (Análise Discriminante de Mínimos Quadrados Parciais) que são capazes de categorizar e prever adulterações com elevada precisão (Nunes, 2015).

O progresso tecnológico, que inclui a redução do tamanho dos espectrômetros NIR e Raman, tem possibilitado sua utilização direta em contextos industriais e em verificações de campo, favorecendo um controle de qualidade mais rápido e eficaz (Ferreira, 2013). Estas tecnologias estão em consonância com as responsabilidades do veterinário, de acordo com o Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA), sendo essenciais para assegurar a segurança alimentar e a salvaguarda da saúde da população (Nunes, 2015).

Diante disso, este trabalho tem por objetivo revisar os avanços e aplicações das técnicas espectroscópicas NIR e Raman na inspeção não destrutiva de carnes e leite, com ênfase em sua relevância para a Medicina Veterinária e na prevenção de fraudes.

2 METODOLOGIA

Este estudo é uma revisão narrativa da literatura, cujo propósito foi compilar e analisar de forma crítica os principais progressos no uso da espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) e da espectroscopia Raman na inspeção não destrutiva de alimentos de origem animal, com ênfase na identificação de fraudes e na avaliação da qualidade de carnes e leites. A pesquisa foi realizada a partir de trabalhos acadêmicos já publicados, incluindo artigos científicos, dissertações e teses acessíveis em bases de dados respeitadas, tais como Scopus, Web of Science, PubMed, ScienceDirect e Google Scholar. Também foram analisados repositórios institucionais, como a Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD), bem como recursos acadêmicos disponibilizados diretamente, que discutem usos específicos das técnicas espectroscópicas na indústria alimentícia.

Foram priorizados estudos publicados entre os anos de 2010 e 2024, redigidos em português, inglês ou espanhol, e que apresentassem dados experimentais ou revisões consistentes sobre a aplicação da espectroscopia NIR ou Raman na análise de carnes frescas, leite cru, derivados e suplementos alimentares. Trabalhos que integrassem essas técnicas com métodos de análise multivariada, como a análise de componentes principais (PCA) e a análise discriminante por mínimos quadrados parciais (PLS-DA), receberam atenção especial, visto que tais combinações têm demonstrado maior sensibilidade e especificidade na classificação de amostras adulteradas.

Durante a análise dos materiais selecionados, foram desconsideradas fontes que abordavam alimentos de origem vegetal de maneira exclusiva, estudos cujo foco principal não era a espectroscopia ou que apresentassem escassez de dados práticos ou validação experimental. A abordagem metodológica adotada permitiu não apenas a caracterização do estado da arte sobre o tema, mas também a identificação das vantagens, limitações e tendências tecnológicas associadas ao uso da espectroscopia na rotina da inspeção veterinária e na garantia da segurança alimentar.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As técnicas espectroscópicas empregadas na análise de alimentos de origem animal têm mostrado progressos significativos em termos de precisão analítica, rapidez e habilidade de identificar fraudes. A espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) é notável pela sua velocidade, ausência de destruição e sensibilidade à estrutura molecular dos alimentos (Nunes, 2015). Ferreira (2013) evidenciou a efetividade da NIR na avaliação de alimentos complexos como soja e quinoa, apresentando coeficientes de determinação (R^2) acima de 0,80 para proteínas,

lipídios e umidade, além de erros médios inferiores a 1%, mesmo sem a preparação prévia da amostra.

Esta técnica torna-se ainda mais sólida quando combinada com a quimiometria, particularmente através da PLS. Brunetti e Stanke Filho (2024) evidenciaram essa sinergia ao utilizarem a espectroscopia de infravermelho na determinação da creatina em suplementos alimentares, mesmo diante da interferência de outros compostos. Os autores ressaltaram que a NIR possui alta sensibilidade a grupos funcionais como -CH, -NH e -OH, tornando-a apropriada para a avaliação de produtos de origem animal, como carne e leite.

Ademais, Nunes (2015) desenvolveu modelos quimiométricos para identificar fraudes em carne bovina in natura, empregando espectroscopia no infravermelho médio (MIR), juntamente com a reflectância total atenuada (ATR) e informações físico-químicas. A escritora estudou 43 amostras reais recolhidas pela Polícia Federal e 12 amostras de controle, empregando os modelos de análise de componentes principais (PCA) e PLS-DA, respectivamente. O modelo PLS-DA que combina dados espectrais e físico-químicos demonstrou ser o mais eficaz, classificando de maneira correta todas as amostras controle e identificando as adulteradas com apenas quatro falsos negativos, demonstrando uma precisão superior a 90%.

Nunes (2015) também estudou as purgas (líquido expelido após o descongelamento) de 51 amostras que foram adulteradas de maneira controlada com água, tripolifosfato de sódio, colágeno, carragena e maltodextrina, além de água. A espectroscopia MIR empregada nas purgas possibilitou não só a detecção da adulteração, mas também a identificação do tipo de adulterante empregado. Os modelos criados demonstraram alta precisão e especificidade, destacando-se a utilização de variáveis escolhidas através dos VIP scores.

Por outro lado, a espectroscopia Raman, apesar de ser menos estudada no Brasil, tem mostrado sua eficiência na identificação de fraudes em leite e carnes processadas. Conforme Hoffmann (2023), o método possui alta seletividade na detecção de componentes químicos específicos, sendo pouco afetado pela água - um atributo crucial para a análise de matrizes úmidas. Petersen, Yu e Lu (2021) comprovaram a capacidade de espectrômetros Raman portáteis em identificar adulterações em produtos lácteos com limites de tolerância inferiores a 1%.

Brunetti e Stanke Filho (2024) também ressaltaram a complementaridade entre NIR e Raman na avaliação de suplementos alimentares, como a creatina, notando que as duas metodologias proporcionam sensibilidades distintas para os grupos funcionais existentes. Este método combinado enfatiza a possibilidade de empregar estratégias híbridas na verificação de alimentos de procedência animal.



Para além da eficácia analítica, um fator crucial é a portabilidade dos aparelhos contemporâneos. A redução do tamanho dos espectrômetros NIR possibilitou a realização de análises diretamente na linha de produção, em frigoríficos, laticínios ou até mesmo em unidades móveis. Beć, Grabska e Huck (2022) destacam que esses aparelhos, além de funcionarem com conexão digital, proporcionam resposta ágil e baixo custo operacional, estando em consonância com os princípios de sustentabilidade e de vigilância sanitária.

A união de técnicas espectroscópicas com métodos quimiométricos, tais como PCA, PLS-DA, SIMCA e SVM, melhora a classificação e previsão de amostras, possibilitando até mesmo a identificação de falsificações em níveis iniciais. Esses modelos também se favorecem da remoção de variáveis irrelevantes e da escolha de variáveis pertinentes através de VIP scores, o que potencializa a compreensão e diminui o tempo de análise (Ferreira, 2013; Nunes, 2015).

Portanto, a espectroscopia NIR e Raman, integrada à quimiometria, constitui um avanço significativo para a Medicina Veterinária e os sistemas de inspeção sanitária. Suas aplicações possibilitam não apenas a identificação rápida de fraudes, mas também o fortalecimento dos sistemas de controle de qualidade, contribuindo para a segurança alimentar, a rastreabilidade e a confiança do consumidor.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A espectroscopia NIR e Raman, associada a ferramentas quimiométricas, representa um avanço significativo na inspeção não destrutiva de alimentos de origem animal. Ambas as técnicas demonstram alta eficiência na detecção de adulterações e na predição de parâmetros de qualidade, com vantagens como rapidez, sustentabilidade e portabilidade. A aplicação dessas tecnologias na rotina do médico-veterinário e dos serviços de inspeção fortalece a segurança alimentar, aumenta a confiabilidade dos produtos e contribui para a transparência na cadeia produtiva. Investir em sua implementação e capacitação técnica é essencial para modernizar os sistemas de controle sanitário e combater eficazmente as fraudes alimentares.



REFERÊNCIAS

BEĆ, Krzysztof; GRABSKA, Joanna; HUCK, Christian W. Miniaturized NIR spectrometers in food analysis: A review of applications and recent developments. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 146, p. 116460, 2022.

BRUNETTI, João Paulo Pinheiro; STANKE FILHO, Rodolfo Paulo. **Revisão bibliográfica de métodos para análise de creatina**. Vila Velha: Instituto Federal do Espírito Santo, 2024.

FERREIRA, Daniela Souza. **Aplicação de espectroscopia no infravermelho e análise multivariada para previsão de parâmetros de qualidade em soja e quinoa**. 2013. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, 2013.

HOFFMANN, Fabiane. Aplicações emergentes da espectroscopia Raman na análise de alimentos lácteos: avanços e perspectivas. **Revista Brasileira de Ciência de Alimentos**, v. 29, n. 2, p. 87–95, 2023.

NUNES, Karen Monique. **Utilização de espectroscopia no infravermelho médio, fusão de dados e métodos quimiométricos de classificação na análise de fraudes em carnes bovinas in natura**. 2015. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Exatas, Belo Horizonte, 2015.

PETERSEN, Michael A.; YU, Peiqiang; LU, Xingyang. Handheld Raman spectroscopy for rapid detection of adulterants in milk powder and infant formula. **Food Chemistry**, v. 340, p. 127907, 2021.