

ADULTERAÇÕES NA CADEIA DO LEITE: EVOLUÇÃO HISTÓRICA, IMPLICAÇÕES E AVANÇOS NAS METODOLOGIAS ANALÍTICAS DE DETECÇÃO

Jennyfer de Souza Andrade^{1,4}, Ana Carolina Nascimento Cidrini Golo^{2,4}, Lara Beatriz Oliveira Mateus^{2,4}, Júlia da Costa Carneiro Cruz^{3,4}, Gabrielle Venâncio Muniz Souza^{2,4}, Emília Maricato Pedro dos Santos^{1,4}

¹ Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Faculdade de Medicina, Departamento de Medicina Veterinária, Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil
(jennyferandrade1989@gmail.com).

² Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária, Programa de Pós-graduação em Ciência Animal, Departamento de Tecnologia e Inspeção de Produtos de Origem Animal, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

³ Universidade Federal do Pampa, Uruguiana, Programa de Pós-graduação em Ciência Animal, Rio Grande do Sul, Brasil.

⁴ Grupo de Pesquisa em Inspeção, Tecnologia e Controle de Qualidade de Produtos de Origem Animal da Universidade Federal de Juiz de Fora (GPPoa UFJF), Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil.

Resumo: A adulteração do leite representa um desafio histórico com impactos econômicos, sanitários e na confiança do consumidor. Esta revisão integrativa analisou fraudes na cadeia láctea e avanços nas metodologias de detecção. Métodos tradicionais apresentam limitações, enquanto técnicas emergentes, como espectroscopia, cromatografia e biossensores, demonstram maior sensibilidade. O desenvolvimento de ferramentas analíticas eficientes é essencial para garantir a qualidade e a segurança dos produtos.

Palavras-chave: Controle de qualidade; Fraudes; Laticínios.

INTRODUÇÃO

O leite, por definição, constitui o produto oriundo da ordenha completa, ininterrupta, em condições de higiene, de vacas sadias, bem alimentadas e descansadas (Brasil, 2017). Este é considerado um alimento completo e de alto valor nutricional, contendo mais de cem mil constituintes em sua composição. Seu consumo não é limitado a neonatos, uma vez que a ingestão deste fluido biológico também proporciona inúmeros efeitos benéficos para indivíduos adultos, atuando como uma importante fonte de proteínas de alto valor biológico, assim como lipídeos, carboidratos, vitaminas e sais minerais (Parsain *et al.*, 2024).

A produção leiteira no Brasil possui enorme importância econômica e social, impactando, especialmente, na garantia da segurança alimentar e na geração de renda para milhões de famílias. Em 2024, a produção primária atingiu o marco de 35,7 bilhões de litros de leite, garantindo ao país sua posição entre os principais produtores globais (IBGE, 2024).

Dentre os produtos de origem animal, o leite é facilmente fraudado. Tal prática, considerada um tipo de adulteração, é motivada pelo desejo de obtenção

de vantagem indevida e configura uma vulnerabilidade na produção leiteira. Sua principal motivação é o ganho econômico, seja a partir do aumento de volume ou por meio do mascaramento de características indesejáveis da matéria-prima, como alta acidez ou elevada contaminação microbiana, que são comumente um reflexo de processos de ordenha, armazenamento e transporte inadequados (Patari *et al.*, 2022).

Certas categorias de adulterações não implicam, necessariamente, em riscos graves aos consumidores, como é o caso de fraudes por adição de água, soro de leite, amido, açúcar e farinha. Outras, porém, podem apresentar maior potencial nocivo, especialmente quando produtos químicos, como soda cáustica, formol, peróxido de hidrogênio, ureia, melamina e hipoclorito de sódio, são utilizados. Independentemente de sua classificação, porém, tal prática configura crime contra a saúde pública e viola os direitos do consumidor, comprometendo a autenticidade do produto e a plena expressão de seu potencial nutritivo (Perez-Gonzalez *et al.*, 2024).

A detecção de fraudes representa um desafio na cadeia produtiva do leite. Tal prática desonesta pode ser empregada durante as diferentes etapas de processamento deste produto de origem animal. Por

exemplo, manipulação fraudulenta varia desde a execução de práticas aparentemente inofensivas, como o desnate para reaproveitamento da gordura, até a formação de negócios organizados, em que os fraudadores buscam constante aprimoramento para a realização de combinações de adulterações em uma tentativa elaborada de dificultar sua detecção pelos métodos oficiais. Dessa forma, é crucial que o avanço das técnicas fraudulentas seja acompanhado pela evolução e aprimoramento de metodologias eficazes para sua detecção (Rysova *et al.*, 2021).

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo analisar o histórico de ocorrência de fraudes na cadeia de laticínios, assim como discutir sua problemática e apresentar as técnicas analíticas mais atuais e eficazes para sua detecção.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho consiste em uma revisão de literatura integrativa acerca da prática de adulteração na cadeia de laticínios e metodologias emergentes para sua detecção. Para tanto, foi realizada uma busca sistematizada das informações em bases de dados nacionais e internacionais, incluindo Portal de Periódicos CAPES/MEC, *National Library of Medicine* e *Science Direct* utilizando-se os descritores "analysis", "analytical methods", "detection", "milk adulteration" e "milk fraud", combinados por meio dos operadores booleanos "and" e "or", para o eventual cruzamento de dados. A coleta de dados ocorreu entre setembro de 2025 e abril de 2026, considerando estudos publicados nos idiomas inglês e português, disponíveis na íntegra, entre 2021 e 2025. Foram excluídos da análise artigos duplicados ou indisponíveis, revisões de literatura, estudos fora do escopo temático e aqueles que não correspondiam ao objetivo da pesquisa. Obteve-se inicialmente 649 resultados. Após a remoção de duplicatas (91) e adição de registros identificados por outras fontes, tais como legislações (15), 573 publicações foram submetidas à leitura de títulos e resumos, das quais 360 foram excluídos. Em seguida, 213 trabalhos foram avaliados na íntegra, resultando na exclusão de 166 estudos por não atenderem aos critérios de elegibilidade. Ao final, 47 estudos foram incluídos na revisão, conforme demonstrado no fluxograma PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) (Figura 1).

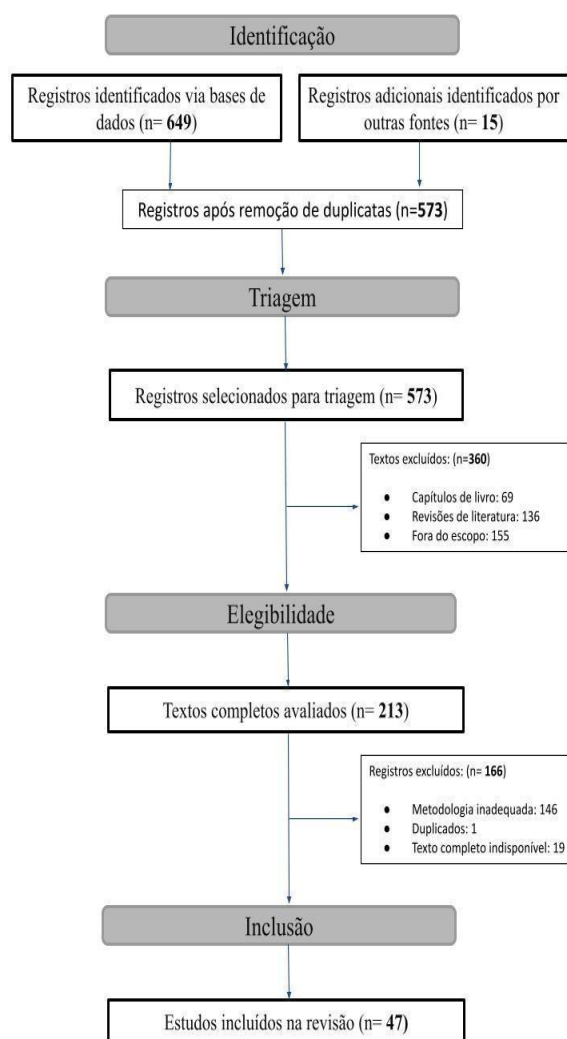


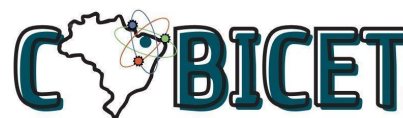
Figura 1. Fluxograma da metodologia PRISMA.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Histórico

Para além do aspecto econômico, o leite possui elevada importância cultural e nutricional no Brasil, seja em sua forma fluida ou em derivados. Estima-se que cada brasileiro consome, em média, 178 litros de leite por ano (CiLeite, 2024). Desse modo, considerando a sua expressiva participação na dieta e sua relevância como um agente promotor de saúde, a garantia de sua qualidade é uma ferramenta essencial para assegurar a aquisição pelo consumidor de um produto autêntico e seguro (Masci *et al.*, 2022).

Atualmente, um dos principais obstáculos para a obtenção de um alimento com características intrínsecas inalteradas é a adulteração alimentar. Tal prática remonta à antiguidade e se modernizou ao longo dos séculos em conjunto com o avanço tecnológico no processamento de alimentos. O caso de maior notoriedade envolvendo produtos lácteos,



em âmbito global, ocorreu na China, em 2009, com o escândalo de adulteração de leite em pó com melamina, cujo objetivo era aumentar o teor proteico em virtude da adição de água ao leite. Esse episódio resultou no óbito de seis bebês e expôs a fragilidade da cadeia produtiva, resultando em modificações rigorosas nas regulamentações do país (Soon-Sinclair *et al.*, 2024).

No Brasil, a prática de adulteração, falsificação ou fraude de produto alimentício destinado ao consumo, tornando-o nocivo para a saúde ou reduzindo o seu valor nutritivo, é classificada como crime contra a saúde pública, com pena de quatro a oito anos de reclusão (Brasil, 1998). Historicamente, a fraude por adição de água constitui o principal tipo de adulteração ao qual o leite está sujeito, embora novas técnicas tenham se popularizado entre os fraudadores com o avanço da cadeia produtiva de leite, tornando sua detecção um desafio (Zhang *et al.*, 2025a).

Casos emblemáticos de investigações policiais acerca de esquemas de adulteração no leite ganharam grande repercussão no Brasil. Em 2007, a Operação Ouro Branco revelou a adição de soda cáustica e peróxido de hidrogênio ao leite ultrapasteurizado por duas cooperativas de Minas Gerais. Em 2013, o cenário se repetiu com a Operação Leite Compensado, em que transportadores de leite cru refrigerado do Rio Grande do Sul foram condenados por fraudar o produto com a adição de água e ureia. Tais operações receberam enorme repercussão midiática e trouxeram diversas consequências para a cadeia produtiva no país, tornando-se um marco no combate às adulterações e ressaltando a necessidade de reformulação da legislação vigente no período (Santos *et al.*, 2024).

Implicações

A adulteração em alimentos configura uma violação aos direitos previstos no código de defesa do consumidor (Brasil, 1990). Além de causar prejuízos econômicos em virtude da redução do potencial nutritivo do alimento, a fraude com adição de substâncias potencialmente nocivas pode promover efeitos tóxicos e até mesmo carcinogênicos, configurando-se como um risco à saúde pública (Jaber; Al-Hayali, 2025).

No cenário atual, observa-se um nível crescente de exigência por qualidade e segurança por parte dos consumidores de alimentos, uma vez que possuem conhecimento acerca da influência desses produtos na saúde (Jakubowska *et al.*, 2024). Nesse sentido, diante da veiculação dos casos de adulteração, frequentemente pelos meios de comunicação, estes causam um impacto profundo na percepção e na confiança dos consumidores acerca dos alimentos,

impactando negativamente a imagem do setor de laticínios como um todo (Li *et al.*, 2021).

Assim, a indústria de alimentos, além de sofrer com o descrédito e com o declínio da demanda após o noticiamento de escândalos de fraude, se vê afetada também por meio da concorrência desleal. Ademais, o beneficiamento de matérias-primas adulteradas resulta na redução do rendimento industrial, aumento dos custos de produção e redução da vida útil de seus produtos (Zhao *et al.*, 2025).

Limitações das metodologias analíticas tradicionais

A Instrução Normativa nº 77 de 26 de novembro de 2018 do Ministério da Agricultura e Pecuária determina que, a cada recepção do leite na indústria, devem ser conduzidas análises de seleção de cada compartimento do veículo transportador, contemplando pesquisas de neutralizantes de acidez, reconstituintes de densidade e do índice crioscópico e de substâncias conservadoras (Brasil, 2018b).

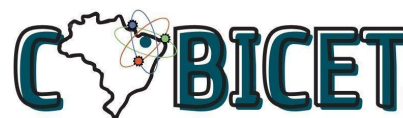
As metodologias tradicionais empregadas para a detecção de fraudes na rotina diária das unidades de beneficiamento de leite e produtos derivados consistem em testes colorimétricos qualitativos individuais para cada tipo de adulterante, baseados na interação química entre reagentes específicos e a amostra pesquisada (Brasil, 2018a).

Estas técnicas são consideradas pouco onerosas, simples e rápidas, que não demandam a utilização de equipamentos sofisticados ou etapas complexas de preparação das amostras. No entanto, apresentam como principal limitação a subjetividade e baixa sensibilidade analítica, uma vez que o agente adulterante precisa estar presente em uma concentração mínima para que se torne detectável a partir de reações colorimétricas. Além disso, a mistura de grandes volumes de leite de diferentes origens nos compartimentos do veículo transportador potencializa a diluição de possíveis adulterantes e dificulta ainda mais a capacidade de detecção dos testes (Silva *et al.*, 2025).

Metodologias emergentes

Métodos espectroscópicos

Técnicas espectroscópicas, como Espectroscopia no Infravermelho Próximo (NIR), Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) e Espectroscopia Raman são amplamente empregadas na autenticação de leite e derivados. Esta abordagem analítica gera gráficos de impressões digitais espectrais que refletem a composição da matriz



alimentar. Assim, a partir de análise estatística e detecção de alterações no perfil espectral de amostras de leite, é possível prever a ocorrência de adulterações (Yao *et al.*, 2023).

A interpretação dos dados espectrais geralmente é realizada utilizando métodos quimiométricos, como Análise de Componentes Principais (PCA) e Mínimos Quadrados Parciais (PLS), assim como ramos da inteligência artificial, como redes neurais artificiais (ANN). A integração de técnicas de análise multivariada para a interpretação dos dados espectroscópicos auxilia no reconhecimento de padrões complexos e potencializa a identificação de amostras adulteradas (Lima *et al.*, 2022).

A espectroscopia consiste em uma técnica analítica não destrutiva, capaz de gerar dados rápidos e com mínima preparação da amostra (Zhang *et al.*, 2025b). Ademais, possibilita a identificação e quantificação de uma ampla gama de adulterantes, incluindo formol (Rosa *et al.*, 2025), ureia (Wu *et al.*, 2022), melamina e sacarose (Chu *et al.*, 2024).

A espectroscopia Raman foi utilizada no estudo de Tian *et al.* (2022) para a detecção simultânea de alguns dos principais agentes adulterantes adicionados ao leite cru, incluindo soro de leite, maltodextrina (reconstituente) e carbonato de sódio (neutralizante de acidez). A modelagem preditiva foi efetuada com o emprego da análise discriminante por mínimos quadrados parciais (PLS-DA). Esse modelo demonstrou alta eficácia em identificar amostras adulteradas, apresentando 95,83 % de acurácia na detecção de maltodextrina, 100 % para carbonato de sódio, 95,84 % para soro de leite e 92,25 % para leite cru puro. O método de regressão parcial de mínimos quadrados (PLS) como modelo quantitativo também foi utilizado e demonstrou a eficácia da técnica em quantificar, com boa precisão, a concentração dos adulterantes nas amostras.

A partir disso, os pesquisadores almejam o desenvolvimento de um aparelho compacto, de baixo custo operacional e maior acessibilidade e flexibilidade, com aplicabilidade industrial. Liang *et al.* (2025) desenvolveram um espectrômetro NIR portátil combinado com quimiometria para a detecção de diferentes níveis de fraude por aguagem no leite. O modelo de predição qualitativa *Soft Independent Modeling of Class Analogy* (SIMCA) alcançou o melhor desempenho na identificação de amostras de leite adulteradas e não adulteradas, destacando-se como uma boa ferramenta de classificação. Por sua vez, na análise qualitativa, o modelo Regressão por Vetores de Suporte (VN-SVR) obteve o melhor desempenho, com alta eficácia na aferição do teor de água nas amostras, conforme demonstrado pelos valores do coeficiente de

determinação ($R^2 = 0,9992$) e erro quadrático médio de previsão (RMSEP = 0,0660 %).

Outros aparelhos portáteis também já foram desenvolvimentos para a detecção de amido (Durgun; Durgun, 2024), falsificação do leite de cabra com leite de vaca (Pereira *et al.*, 2025) e adulterantes em leite de búfala (Gullifa *et al.*, 2025).

Cromatografia líquida de alta eficiência

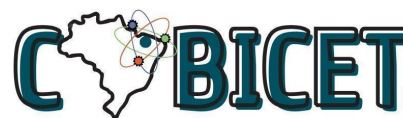
A cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) é uma técnica de separação altamente sensível e precisa, utilizada para a detecção e quantificação de compostos de interesse em uma amostra (Studzińska *et al.*, 2023).

A CLAE é considerada o método de referência para detecção do caseinomacropeptídeo (CMP) em leite fluido (Brasil, 2018b). O CMP é um componente naturalmente encontrado no soro de leite, resultado da clivagem da k-caseína por ação da quimosina durante a etapa de produção do queijo, o que justifica sua utilização como biomarcador para detecção de fraude por adição de soro ao leite cru, para incremento de volume (Darvishi *et al.*, 2024).

Vera-Bravo *et al.* (2022) prepararam amostras adulteradas com distintas concentrações de soro para análise por cromatografia de exclusão molecular. Os autores identificaram picos no cromatograma cuja intensidade se mostrou diretamente proporcional à porcentagem de soro na amostra, permitindo a construção de uma curva de calibração com relação linear positiva ($R^2 = 0,9984$). Além disso, a presença do marcador foi confirmada por meio de técnicas adicionais, incluindo espectrometria de massas e imunocromatografia.

Zhang *et al.* (2024), por sua vez, empregaram a CLAE associada à espectrometria de massas para análise proteômica do leite de sete espécies distintas (vaca, camelo, jumenta, cabra, ovelha, búfala e iaque), com o objetivo de identificar peptídeos específicos como biomarcadores para detecção de adulteração com leite da espécie bovina. Os marcadores de interesse foram selecionados e utilizados para avaliar a autenticidade das amostras comerciais por monitoramento de múltiplas reações (MRM), cujos resultados se mostraram consistentes com análises de validação realizadas por PCR (Reação em Cadeia da Polimerase). Desse modo, o método demonstrou alta precisão e aplicabilidade, com valores de R^2 superiores a 0,99 e taxas de recuperação entre 91,07 e 111,75 %.

Biossensores



Biossensores são dispositivos compactos, simples e econômicos desenvolvidos como alternativas promissoras às metodologias laboratoriais tradicionais. Esta técnica permite a detecção de diferentes analitos em uma amostra a partir de sua interação seletiva com um elemento de reconhecimento, resultando em uma reação biológica que será convertida em um sinal mensurável por um transdutor (Karkani *et al.*, 2023).

A ureia pode ser empregada como adulterante visando o aumento do teor de nitrogênio e, consequentemente, a fração proteica do leite. Diante desta problemática, Shalileh *et al.* (2023) desenvolveram um biossensor colorimétrico a base de papel, integrado a *smartphone*, capaz de detectar adulteração por adição de ureia à matéria-prima leite. O mecanismo de detecção do biossensor baseia-se na hidrólise enzimática da ureia presente na amostra, o que promove alteração de cor da antocianina em virtude do aumento do pH do meio. Como resultado, o modelo apresentou boa relação linear ($R^2 = 0,9705$) e limite de detecção (LOD) de 4,33 mM ao avaliar amostras de leite integral adulterado com diferentes concentrações de ureia. Para leite desnatado os resultados demonstraram desempenho superior ($R^2 = 0,9802$ e LOD = 2,54 mM), indicando que o pré-tratamento das amostras maximizou o desempenho analítico.

No contexto industrial, é almejado que os métodos analíticos sejam projetados visando a detecção de múltiplos agentes adulterantes de forma simultânea, de modo a otimizar o tempo de análise e garantir maior eficiência analítica. Sob essa perspectiva, Anushka *et al.* (2025) descreveram o desenvolvimento de um sensor microfluídico portátil de baixo custo capaz de detectar ureia, amido, peróxido de hidrogênio, detergente, neutralizantes e ácido bórico em amostras de leite de forma concomitante e rápida. Tal dispositivo apresentou alta sensibilidade, demonstrando desempenho superior em relação aos limites de detecção anteriormente relatados na literatura científica. Especialmente em relação a ureia e peróxido de hidrogênio, o limite de detecção foi de 0,03 %. O modelo também demonstrou excelente relação linear, com R^2 excedendo 0,97. Trata-se de um método econômico e com potencial para a detecção rápida e sensível de alguns dos principais adulterantes no leite.

Reação em Cadeia da Polimerase (PCR)

A PCR é uma técnica molecular dotada de alta sensibilidade e especificidade, comumente empregada como ferramenta de autenticação de espécies no leite. A mistura de leite de menor valor agregado à leite de alto valor comercial, como é o caso da falsificação por adição de leite de vaca ao

leite de cabra ou búfala, é uma prática ilegal que fere os direitos do consumidor e acarreta em riscos para a saúde pública. O uso de ingredientes não declarados no rótulo, além de antiético, compromete a saúde de consumidores alérgicos às proteínas do leite bovino (Zhou *et al.*, 2024).

Em seu estudo, Tuncay (2023) adquiriu 60 amostras comerciais rotuladas como leite de cabra e realizou a extração do DNA (Ácido desoxirribonucleico) para condução da PCR em tempo real, visando identificar marcadores genéticos de cabra, vaca ou ovelha. Concluiu-se que 70 % das amostras analisadas apresentaram inconformidade em relação ao conteúdo declarado, sendo que 60 % delas não continham qualquer conteúdo de leite de cabra em sua composição, o que demonstra a relevância do monitoramento com o uso de métodos baseados em DNA.

A PCR apresenta como particularidade a necessidade de diversos ciclos térmicos a temperaturas variáveis em termocicladores. Visando superar esta limitação, foram desenvolvidas diversas técnicas de amplificação isotérmica, incluindo a Amplificação Isotérmica Mediada por Loop (LAMP). Essa alternativa inovadora, rápida e acessível garante que o processo possa ocorrer em temperatura estável, eliminando a necessidade de longos ciclos de amplificação em equipamentos dispendiosos (Wang *et al.*, 2024).

Yu *et al.* (2021) desenvolveram um dispositivo microfluídico centrífugo dotado de múltiplos poços contendo em seu interior *primers* (iniciadores) específicos para a projeção da técnica LAMP fluorescente, capaz de permitir a discriminação de cinco espécies de forma simultânea na amostra, incluindo leite de vaca, cabra e camelo, com limite de detecção de 1 %. Este dispositivo multiplex simplifica o processo de detecção de espécies, com o potencial de atuar como ferramenta de triagem para a verificação de autenticidade em indústrias que comercializam leite de alto valor agregado.

Nariz eletrônico (E-nose)

O sistema *E-nose* é uma tecnologia olfativa não destrutiva dotada de um conjunto de sensores capazes de detectar compostos aromáticos voláteis (VOC) emitidos por uma amostra, gerando padrões aromáticos passíveis de análise por algoritmos de reconhecimento. A partir da detecção de alterações no perfil de VOC, o modelo permite o reconhecimento de adulteração de diferentes origens no leite (Tian *et al.*, 2023a).

No estudo de Tian *et al.* (2023b), a tecnologia *E-nose* foi acoplada à cromatografia de gás flash para a detecção de adulteração por adição de gorduras não

láticas em leite cru. A partir da aquisição do perfil de compostos orgânicos voláteis oriundos de amostras de leites adulteradas com diferentes fontes de óleo vegetal, os autores buscaram o desenvolvimento de modelos de classificação e regressão utilizando algoritmos de aprendizado de máquina, em substituição aos métodos quimiométricos tradicionais. O algoritmo *Random Forest* (RF) apresentou o melhor desempenho na análise discriminante (100 % de acurácia; escore F1 = 0,9625) e avaliação quantitativa ($R^2 = 0,9792$; RMSEP = 0,2583), demonstrando excelente capacidade em classificar amostras e prever o índice de adulteração. Portanto, trata-se de uma técnica rápida, eficiente e promissora, com potencial de expansão para a análise de outros agentes adulterantes de interesse.

Limitações para aplicação das metodologias emergentes

Determinadas metodologias apontadas como alternativas para a verificação da autenticidade em laticínios podem apresentar limitações para implementação em escala industrial em virtude de determinadas particularidades. Algumas destas ferramentas analíticas, embora altamente precisas, exigem a aquisição de equipamentos complexos e dispendiosos, além de um alto consumo de reagentes, análises demoradas e etapas de preparação de amostras, como é o caso da CLAE e da espectrometria de massas (He *et al.*, 2023).

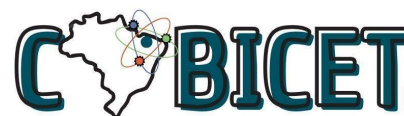
Estes entraves constituem fatores limitantes para sua aplicação em análises de rotina, especialmente em se tratando de pequenas e médias indústrias, o que tem restringido sua utilização principalmente ao ambiente acadêmico (Julmohammad; Tan, 2025). No entanto, existem esforços voltados ao desenvolvimento e validação de métodos mais convenientes e econômicos, como diferentes categorias de sensores e modelos espectroscópicos portáteis, que se apresentam como alternativas promissoras, acessíveis e com boa sensibilidade (Fotouhi *et al.*, 2023).

CONCLUSÃO

O monitoramento e a detecção de adulteração em leite cru refrigerado é um desafio enfrentado diariamente pelo controle de qualidade das unidades de beneficiamento de leite e derivados. Logo, é de suma importância o desenvolvimento e a busca constante por metodologias analíticas mais aprimoradas, reprodutíveis e inovadoras, buscando conciliar sensibilidade com praticidade e aplicabilidade industrial, a fim de assegurar a saúde pública e a imagem do setor.

REFERÊNCIAS

- ANUSHKA; BANDOPADHYAY, A.; DAS, P. K. Portable paper-based microfluidic device for rapid on-site screening of milk adulterants. **Sensors & Diagnostics**, v. 4, n. 10, p. 902-916, 2025. DOI: 10.1039/D5SD00090D.
- BRASIL. Casa Civil. Presidência da República. Lei n. 8.078, de 11 de setembro de 1990. Dispõe sobre a proteção do consumidor e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**: Brasília - DF, 11 set. 1990. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/18078compilado.htm. Acesso em: 28 nov. 2025.
- BRASIL. Casa Civil. Presidência da República. Lei n. 9.677, de 2 de julho de 1998. Altera dispositivos do Capítulo III do Título VIII do Código Penal, incluindo na classificação dos delitos considerados hediondos crimes contra a saúde pública, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**: Brasília - DF, 2 jul. 1998. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9677.htm#art272. Acesso em: 28 nov. 2025.
- BRASIL. Casa Civil. Presidência da República. Decreto n. 9.013, de 29 de março de 2017. Regulamenta a Lei no 1.283, de 18 de dezembro de 1950, e a Lei no 7.889, de 23 de novembro de 1989, que dispõem sobre a inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**: Brasília - DF, 30 mar. 2017. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/inspleite/files/2020/10/RIISP-OA-ALTERADO-E-ATUALIZADO-2020.pdf>. Acesso em: 18 out. 2025.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n. 30, de 26 de junho de 2018. Estabelece como oficiais os métodos constantes do Manual de Métodos Oficiais para Análise de Alimentos de Origem Animal. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**: Brasília - DF, 13 jul. 2018a. Disponível em: <https://share.google/MPmXsQ0cKLD0a61gV>. Acesso em: 05 mar. 2026.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n. 77, de 26 de novembro de 2018. Critérios e procedimentos para a produção, acondicionamento, conservação, transporte, seleção e recepção do leite cru em estabelecimentos registrados no serviço de inspeção oficial. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**: Brasília - DF, 30 nov. 2018b. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/52750141/do1-2018-11-30-in



strucao-normativa-n-77-de-26-de-novembro-de-2018-52749887. Acesso em: 01 mar. 2026.

CENTRO DE INTELIGÊNCIA DO LEITE - CILEITE. **Leite em Números - Consumo. 2024.** Disponível em: https://www.cileite.com.br/leite_numeros_consumo. Acesso em: 28 nov. 2025.

CHU, C.; WANG, H.; LUO, X.; FAN, Y.; NAN, L.; DU, C.; GAO, D.; WEN, P.; WANG, D.; YANG, Z.; YANG, G.; LIU, L.; LI, Y.; HU, B.; ZUNONGJIANG, A.; ZHANG, S. Rapid detection and quantification of melamine, urea, sucrose, water, and milk powder adulteration in pasteurized milk using Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy coupled with modern statistical machine learning algorithms. **Heliyon**, v. 10, n. 12, p. e32720, 2024. DOI. 10.1016/j.heliyon.2024.e32720.

DARVISHI, P.; MIRZAEI-GHALEH, E.; RAMEDEANI, Z.; KARAMI, H.; WILSON, A. D. Detecting whey adulteration of powdered milk by analysis of volatile emissions using a MOS electronic nose. **International Dairy Journal**, v. 157, n. 10, p. 106012, 2024. DOI. 10.1016/j.idairyj.2024.106012.

DURGUN, Y.; DURGUN, M. Cost-effective multispectral sensor and artificial neural networks for the detection of starch adulteration in raw milk. **Applied Sciences**, v. 14, n. 21, p. 9800, 2024. DOI. 10.3390/app1421980.

FOTOUHI, M.; NASIHATKON, B.; SOLOUKI, S.; SEIDI, S. A card instead of a lab: A ligand embedded in a bio-composite of starch/gelatin intelligent film for milk quality test followed by colorimetric analysis. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 228, n. 2, p. 426-434, 2023. DOI. 10.1016/j.ijbiomac.2022.12.205.

GULLIFA, G.; ALBERTINI, C.; AMORESANO, A.; PINTO, G.; ILLIANO, A.; DIRITO, P.; MATERAZZI, S.; RISOLUTI, R. A smart based screening system by MicroNIR and chemometrics for on-site authentication of buffalo milk in dairy industry. **Applied Food Research**, v. 5, n. 2, p. 101159, 2025. DOI. 10.1016/j.afres.2025.101159.

HE, Y.; ZENG, W.; ZHAO, Y.; ZHU, X.; WAN, H.; ZHANG, M.; LI, Z. Rapid detection of adulteration of goat milk and goat infant formulas using near-infrared spectroscopy fingerprints. **International Dairy Journal**, v. 137, n. 2, p. 105536, 2023. DOI. 10.1016/j.idairyj.2022.105536.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção agropecuária: Leite. 2024.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/leite/br>. Acesso em: 19 out. 2025.

JABER, D. T.; AL-HAYALI, S. K. Novel bow-tie shaped fiber structure: a dual-channel optical fiber sensor for real-time detection of formalin adulteration in milk. **Sensors and Actuators A: Physical**, v. 396, n. 1, p. 117203, 2025. DOI. 10.1016/j.sna.2025.117203.

JAKUBOWSKA, D.; DĄBROWSKA, A. Z.; STANIEWSKA, K.; KIELCZEWSKA, K.; PRZYBYŁOWICZ, K. E.; ŻULEWSKA, J.; ŁOBACZ, A. Health benefits of dairy products' consumption—consumer point of view. **Foods**, v. 13, n. 23, p. 3925, 2024. DOI. 10.3390/foods13233925.

JULMOHAMMAD, N.; TAN, E. ATR-FTIR with chemometrics tools for classification and prediction of hydrogen peroxide in liquid milk. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 140, n. 4, p. 107223, 2025. DOI. 10.1016/j.jfca.2025.107223.

KARKANI, D.; GEORGAS, A.; HOULOULA, D. P.; FERRARO, A.; HRISTOFOROU, E. Preliminary results of the development of a DNA-hybridization-based biosensor for the detection of milk adulteration using gold interdigitated electrodes. **Engineering Proceedings**, v. 35, n. 1, p. 9, 2023. DOI. 10.3390/IECB2023-14567.

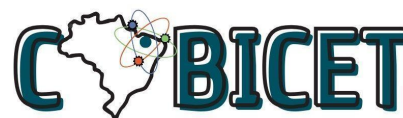
LI, S.; WANG, Y.; TACKEN, G. M. L.; LIU, Y.; SIJTSEMA, S. J. Consumer trust in the dairy value chain in China: the role of trustworthiness, the melamine scandal, and the media. **Journal of Dairy Science**, v. 8, n. 104, p. 8554–8567, 2021. DOI. 10.3168/jds.2020-19733.

LIANG, Q.; XIA, Y. F.; CHE, J. K.; LIU, Y.; ZHANG, H.; GUO, J. C.; XU, Q.; XUE, H. N. Detection of water adulteration levels in milk using near-infrared spectroscopy combined with chemometrics. **Journal of Dairy Science**, v. 108, n. 7, p. 6852–6866, 2025. DOI. 10.3168/jds.2025-26631.

LIMA, J. S.; RIBEIRO, D. C. S. Z.; NETO, H. A.; CAMPOS, S. V. A.; LEITE, M. O.; FORTINI, M. E. R.; CARVALHO, B. P. M.; ALMEIDA, M. V. O.; FONSECA, L. M. A machine learning proposal method to detect milk tainted with cheese whey. **Journal of Dairy Science**, v. 105, n. 12, p. 9496-9508, 2022. DOI. 10.3168/jds.2021-21380.

MASCI, M.; ZOANI, C.; NEVIGATO, T.; TURRINI, A.; JASIONOWSKA, R.; CAPRONI, R.; RATINI, P. Authenticity assessment of dairy products by capillary electrophoresis. **Electrophoresis**, v. 43, n. 1-2, p. 340–354, 2022. DOI. 10.1002/elps.202100154.

PARSAIN, T.; TRIPATHI, A.; TIWARI, A. Detection of milk adulteration using coffee ring effect and convolutional neural network. **Food Additives &**



Contaminants: Part A, v. 41, n. 7, p. 730–741, 2024. DOI. 10.1080/19440049.2024.2358518.

PATARI, S.; DATTA, P.; MAHAPATRA, P. S. 3D Paper-based milk adulteration detection device. **Scientific Reports**, v. 12, n. 13657, p. 1-14. 2022. DOI. 10.1038/s41598-022-17851-3.

PEREIRA, H. J. N. P.; PEREIRA, E. V. S.; FERREIRA, J. L. A.; RAMALHO, R. T. E.; FERNANDES, D. D. S.; DINIZ, P. H. G. D. A miniaturized NIR-based approach for quantifying fat content and cow milk adulteration in goat milk. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 340, n. 5, p. 126341, 2025. DOI. 10.1016/j.saa.2025.126341.

PEREZ-GONZALEZ, C.; GARCIA-HERNANDEZ, C.; GARCIA-CABEZON, C.; RODRIGUEZ-MENDEZ, M. L.; DIAS, L.; MARTIN-PEDROSA, F. Analysis of milk adulteration by means of a potentiometric electronic tongue. **Journal of Dairy Science**, v. 107, n. 11, p. 9135-9144, 2024. DOI. 10.3168/jds.2024-25140.

ROSA, D. G.; MALIK, V. V.; PATLE, L. B.; PARAB, J. S.; LANJEWAR, M. G. Detection and quantification of formaldehyde adulteration in cow and buffalo milk using UV–Vis–NIR spectroscopy with machine learning. **Food Chemistry**, v. 492, n. 2, p. 145485, 2025. DOI. 10.1016/j.foodchem.2025.145485.

RYSOVA, L.; LEGAROVA, V.; PACAKOVA, Z.; HANUS, O.; NEMECKOVA, I.; KLIMESOVA, M.; HAVLIK, J. Detection of bovine milk adulteration in caprine milk with N-acetyl carbohydrate biomarkers by using ¹H nuclear magnetic resonance spectroscopy. **Journal of Dairy Science**, v. 104, n. 9, p. 9583-9595, 2021. DOI. 10.3168/jds.2020-20077.

SANTOS, T. S.; PAULA, H. F.; GOULART, S. M.; CASTRO, L. M.; SANTOS, J. P. V. Determinação dos limites de detecção para conservadores químicos com base nos métodos qualitativos oficiais de análise em leite. **Revista Tecnica**, v. 9, n. 1, p. e90016, 2024. DOI: 10.56762/tecnica.v9i1.251.

SHALILEH, F.; SABAHI, H.; GOLBASHY, M.; DADMEHR, M.; HOSSEINI, M. A simple smartphone-assisted paper-based colorimetric biosensor for the detection of urea adulteration in milk based on an environment-friendly pH-sensitive nanocomposite. **Analytica Chimica Acta**, v. 1284, n. 12, p. 341935, 2023. DOI. 10.1016/j.aca.2023.341935.

SILVA, M. S.; SOUZA, K. A.; GOULART, S. M.; CASTRO, L. M.; SANTOS, J. P. V. Avaliação da eficácia do método oficial para detecção de neutralizantes químicos (hidróxido de sódio e bicarbonato de sódio) em amostras de leite. **Revista**

Principia, v. 62, n. 1, p. e8552, 2025. DOI. 10.18265/2447-9187a2025id8552.

SOON-SINCLAIR, J. M.; NAYAK, R.; MANNING, L. An AcciMap approach to analyse the Chinese melamine milk scandal. **British Food Journal**, v. 126, n. 6, p. 2604-2618, 2024. DOI. 10.1108/BFJ-02-2023-0161.

STUDZIŃSKA, S.; ZALESIŃSKA, E. Development of an ultra high performance liquid chromatography method for the separation and determination of nucleotides and nucleosides in extracts from infant milk formulas and human milk samples. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 115, n. 1, p. 104949, 2023. DOI. 10.1016/j.jfca.2022.104949.

TIAN, H.; CHEN, S.; LI, D.; LOU, X.; CHEN, C.; YU, H. Simultaneous detection for adulterations of maltodextrin, sodium carbonate, and whey in raw milk using Raman spectroscopy and chemometrics. **Journal of Dairy Science**, v. 105, n. 9, p. 7242-7252, 2022. DOI. 10.3168/jds.2021-21082.

TIAN, H.; XIONG, J.; CHEN, S.; YU, H.; CHEN, C.; HUANG, J.; YUAN, H.; LOU, X. Rapid identification of adulteration in raw bovine milk with soymilk by electronic nose and headspace-gas chromatography ion-mobility spectrometry. **Food Chemistry: X**, v. 18, n. 13, p. 100696, 2023a. DOI. 10.1016/j.fochx.2023.100696.

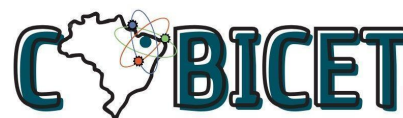
TIAN, H.; WU, D.; CHEN, B.; YUAN, H.; YU, H.; LOU, X.; CHEN, C. Rapid identification and quantification of vegetable oil adulteration in raw milk using a flash gas chromatography electronic nose combined with machine learning. **Food Control**, v. 150, n. 21, p. 109758, 2023b. DOI. 10.1016/j.foodcont.2023.109758.

TUNCAY, R. M. Detection of adulteration of goat milk sold in the Turkish market by real-time Polymerase Chain reaction. **German Journal of Veterinary Research**, v. 3, n. 1, p. 18-23, 2023. DOI. 10.51585/gjvr.2023.1.0048.

VERA-BRAVO, R.; HERNÁNDEZ, A. V.; PEÑA, S.; ALARCÓN, C.; LOAIZA, A. E.; CELIS, C. A. Cheese whey milk adulteration determination using casein glycomacropeptide as an indicator by HPLC. **Foods**, v. 20, n. 11, p. 3201, 2022. DOI. 10.3390/foods11203201.

WANG, N.; ZHANG, J.; XIAO, B.; SUN, X.; HUANG, F.; CHEN, A. Disposable and instrument-free nucleic acid lateral flow cassette for rapid and on-site identification of adulterated goat milk. **Talanta**, v. 267, n. 3, p. 125205, 2024. DOI. 10.1016/j.talanta.2023.125205.

WU, H.; YANG, R.; WEI, Y.; DONG, G.; JIN, H.; ZENG, Y.; AI, C. Influence of brands on a discrimination model for adulterated milk based on



asynchronous two-dimensional correlation spectroscopy slice spectra. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, v. 271, n. 11, p. 120958, 2022. DOI. 10.1016/j.saa.2022.120958.

YAO, Z.; ZHANG, X.; NIE, P.; LV, H.; YANG, Y.; ZOU, W.; YANG, L. Identification of milk adulteration in camel milk using FT-Mid-Infrared Spectroscopy and Machine Learning Models. *Foods*, v. 12, n. 24, p. 4517, 2023. DOI. 10.3390/foods12244517.

YU, W.; CHEN, Y.; WANG, Z.; QIAO, L.; XIE, R.; ZHANG, J.; BIAN, S.; LI, H.; ZHANG, Y.; CHEN, A. Multiple authentications of high-value milk by centrifugal microfluidic chip-based real-time fluorescent LAMP. *Food Chemistry*, v. 351, n. 3, p. 129348, 2021. DOI. 10.1016/j.foodchem.2021.129348.

ZHAO, Y.; NI, X.; TANG, M. Feature selection-driven machine learning for parallel species authentication and adulteration quantification in commercial dairy products via Raman fingerprints. *LWT*, v. 238, n. 15, p. 118839, 2025. DOI. 10.1016/j.lwt.2025.118839.

ZHANG, J.; WEI, L.; MIAO, J.; YU, Y.; YU, N.; HU, Q.; CHEN, H.; CHEN, Y. Authenticity identification of animal species in characteristic milk by integration of shotgun proteomics and scheduled multiple reaction monitoring (MRM) based on tandem mass spectrometry. *Food Chemistry*, v. 436, n. 15, p. 137736, 2024. DOI. 10.1016/j.foodchem.2023.137736.

ZHANG, Y.; PALACIOS, M. P.; BLYTH, J.; HU, Y.; YETISEN, A. K. Holographic sensor for the rapid detection of milk adulteration. *Applied Optics*, v. 64, n. 20, p. 5852-5859, 2025a. DOI. 10.1364/AO.561321.

ZHANG, Y.; SHEN, B.; WANG, H.; ZHAO, Y. Quantification of cow milk in adulterated goat milk using Raman spectroscopy and machine learning. *Microchemical Journal*, v. 215, n. 8, p. 114319, 2025b. DOI. 10.1016/j.microc.2025.114319.

ZHOU, C.; LIU, L.; CHEN, J.; FU, Q.; CHEN, Z.; WANG, J.; SUN, X.; AI, L.; XU, X.; WANG, J. Rapid authentication of characteristic milk powders by recombinase polymerase amplification assays. *Food Chemistry*, v. 443, n. 7, p. 138540, 2024. DOI. 10.1016/j.foodchem.2024.138540.