Revista Virtual de Química

Artigo

Rev. Virtual Quim. **2026**, *18(6)*, 841-847 – http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20260055

©2026 Sociedade Brasileira de Química

Macronutrientes, Elementos-Traço e Aflatoxina *M1* em Queijo Minas Artesanal

Macronutrients, Trace Elements, and Aflatoxin *M1* in Artisanal Minas Cheese

Sarah Cristina de Oliveira,[a] Fernanda Raghiante,[a] Aryele N. da C. E. Sampaio,[a] Rafael A. Santomauro,[a] Marise S. Velame,[a] Bruna G. de Castro,[a] Mirella S. G. Ribeiro,[a] Gabriella R. Cazolda,[a,*] Fábio S. Possebon,[a] Juliano G. Pereira,[a] Otávio Augusto Martins[a]

[a]Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Laboratório de Inspeção Sanitária de Alimentos, Serviço de Orientação à Alimentação Pública (SOAP), CEP 18618-681, Botucatu-SP, Brasil

***E-mail:** gabriella.cazolda@unesp.br, otavio.a.martins@unesp.br

Submissão: 25 de Maio de 2026 **– Aceite:** 4 de Agosto de 2026 **– Publicado online:** 17 de Agosto de 2026

Editor Associado Responsável: João Flávio Petruci

Artisanal Minas cheese (AMC) is a traditional Brazilian product with high cultural and economic value; however, information on its chemical safety and nutritional composition in understudied production regions remains limited. This study evaluated the macronutrient profile, mineral composition, and aflatoxin M1 (AFM1) occurrence in AMCs produced in the Mesoregions of the Minas Triangle (MTM) and Northwest of Minas (NM), Brazil. One hundred cheese samples were analyzed for physicochemical composition, selected minerals, and AFM1, and the data were subjected to ANOVA followed by Tukey's test. Calcium, sodium, iron, and phosphorus contents did not differ significantly between regions ($p > 0,05$), and AFM1 was not detected in any sample. In contrast, moisture ($p = 0.0083$) and ash content ($p = 0.0069$) differed significantly between MTM and NM. Overall, the absence of detectable AFM1 suggests a low occurrence of this contaminant during the study period, while the overall nutritional composition was similar between regions, with differences restricted to moisture and ash, likely reflecting regional manufacturing practices.

Keywords: Public health; trace elements; physicochemical analyses; minerals; mycotoxin.

1. Introdução

O queijo é um alimento denso em nutrientes, fornecendo proteínas de alto valor biológico, gorduras, vitaminas e minerais, como cálcio, ferro, fósforo e sódio. Suas propriedades físico-químicas e sensoriais dependem de sua composição. Estudos associam seu consumo à redução de doenças cardiovasculares e a menores níveis de colesterol, triglicerídeos e gordura hepática.[1,2]

Além de suas propriedades nutricionais benéficas à saúde, o queijo assume um papel de destaque socioeconômico e cultural no cenário nacional, especialmente quando se trata do Queijo Minas Artesanal (QMA). O QMA representa uma das manifestações mais tradicionais da identidade mineira e brasileira, sendo reconhecido como patrimônio cultural imaterial do país devido ao seu modo de fabricação artesanal, que preserva saberes seculares transmitidos por gerações e constitui a base econômica de subsistência para milhares de famílias de pequenos produtores rurais. [3]

De acordo com a legislação brasileira, os queijos artesanais são produzidos por métodos tradicionais e vinculados às características culturais e regionais de sua área de origem.[4] O QMA, um dos principais representantes dessa categoria,[3] é elaborado com leite cru produzido na própria propriedade, utilizando soro fermentado (pingo), coalho e sal. Para preservar sua identidade e garantir a segurança do produto, a legislação federal e estadual estabelece requisitos relacionados às Boas Práticas Agropecuárias (BPA) e às Boas Práticas de Fabricação (BPF).[4,5] As BPA abrangem aspectos como a sanidade do rebanho e a higiene da ordenha, enquanto as BPF regulamentam etapas do processamento, incluindo o uso do pingo como fermento natural e o processamento do leite logo após a ordenha. Esses fatores influenciam diretamente a fermentação lática, refletindo em características como umidade, acidez e composição mineral, parâmetros avaliados no presente estudo.

O produto final deve apresentar consistência firme, com cor, sabor e textura uniformes, ausência de corantes e conservantes, podendo ou não conter olhaduras mecânicas. É um queijo de massa crua, cujo processamento deve ser iniciado em no máximo 90 minutos após o início da ordenha,

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.

utilizando leite que não tenha passado por resfriamento ou tratamento térmico prévio.[5]

Apesar desses benefícios, o queijo pode representar um risco à saúde devido à presença de aflatoxinas, micotoxinas produzidas por fungos dos gêneros *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium*. As aflatoxinas podem ser excretadas no leite de animais que ingerem alimentos contaminados e, consequentemente, estar presente em produtos lácteos, como queijos. Esses compostos são hepatotóxicos e provocam efeitos imunossupressores, mutagênicos e teratogênicos.[6,7]

Os sintomas podem variar de manifestações agudas, como letargia e aumento da gordura hepática, a efeitos crônicos, como icterícia.[8] Estudos realizados em diferentes países demonstram a ocorrência de aflatoxina em queijos, por vezes em concentrações superiores aos limites estabelecidos pela legislação, reforçando a relevância do monitoramento desse contaminante.[9-11] No Brasil, um estudo também evidenciou a presença de AFM1 em queijos artesanais. em queijos artesanais, com elevadas frequências de detecção, incluindo relatos de positividade em até 100% das amostras avaliadas em determinadas regiões.[12] Embora, na maioria dos casos, as concentrações médias permaneçam abaixo do Limite Máximo Permitido (LMP) pela legislação brasileira, esses achados demonstram a ampla disseminação do contaminante em produtos elaborados com leite cru e ressaltam a importância do monitoramento da segurança química desses alimentos.[8,12]

A seleção das mesorregiões do Triângulo Mineiro e do Noroeste de Minas Gerais fundamenta-se em sua relevância para a produção e comercialização do QMA.[3] Além de sua importância socioeconômica, essas regiões apresentam períodos de estiagem, durante os quais pode haver maior dependência da suplementação alimentar do rebanho leiteiro com silagens e concentrados. Esses alimentos constituem potenciais fontes de exposição a micotoxinas quando submetidos a condições inadequadas de produção, armazenamento ou conservação.

Entretanto, a maioria dos estudos sobre o QMA concentra-se em regiões tradicionalmente estudadas, havendo escassez de informações sobre as mesorregiões do Triângulo Mineiro e do Noroeste de Minas Gerais. Essa limitação dificulta a compreensão da ocorrência de AFM1 e da composição nutricional dos queijos produzidos nessas regiões. Além disso, a comercialização informal desses produtos, sem inspeção oficial, reforça a necessidade de estudos que gerem dados capazes de subsidiar ações de vigilância sanitária e de fortalecer a segurança alimentar. Neste aspecto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a concentração de macronutrientes, elementos-traço (micronutrientes) e aflatoxina *M1* em queijos Minas artesanais sem inspeção, comercializados em duas regiões do estado de Minas Gerais, Brasil.

2. Experimental

2.1. Amostragem

Foram avaliadas 100 amostras de queijo Minas artesanal provenientes das Mesorregiões do Triângulo Mineiro (MTM) e Noroeste de Minas (NM), comercializadas sem inspeção governamental. As amostras foram acondicionadas e transportadas sob refrigeração (aproximadamente 4 °C) e enviadas ao Laboratório de Físico-Química Aplicada aos Alimentos, do Serviço de Orientação à Alimentação Pública, Departamento de Produção Animal e Medicina Veterinária Preventiva, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP) – Campus de Botucatu, São Paulo, Brasil.

2.2. Determinação de pH e acidez

O pH foi determinado em amostras homogeneizadas utilizando um pHmetro Kasvi® (K39-0014P; São José dos Pinhais, PR, Brasil), devidamente calibrado com soluções tampão. A acidez (% de ácido lático) foi determinada por titulação com solução de hidróxido de sódio 0,1 mol L^{-1} grau P.A. e fenolftaleína (ambos da Sigma-Aldrich; St. Louis, MO, EUA). Os detalhes do cálculo e das concentrações estão disponíveis na Equação S1, na Informação Suplementar.

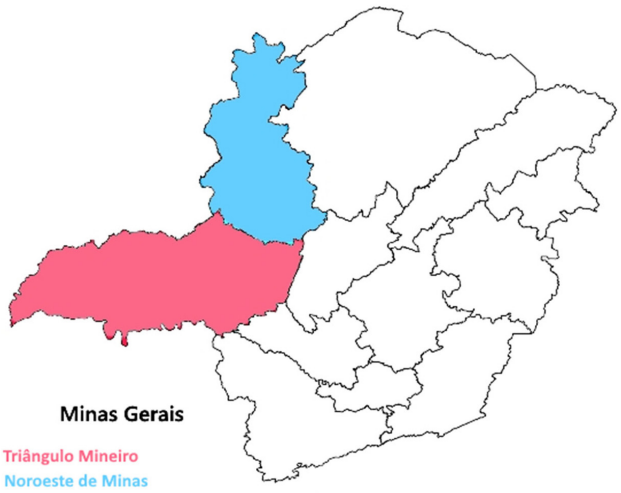


Figura 1. Mapa de Minas Gerais com a Mesorregião do Triângulo Mineiro em rosa e Noroeste de Minas em azul

2.3. Composição centesimal

Os teores de umidade foram determinados por secagem em estufa a 105 °C até peso constante (Equação S2, Informação Suplementar). O resíduo mineral fixo (cinzas) foi obtido por incineração em mufla a 550 °C (Equação S3, Informação Suplementar). O teor de cloreto de sódio foi analisado pelo método de Mohr, por meio de titulação

com nitrato de prata 0,1 M (Merck; Darmstadt, Alemanha) (Equação S4, Informação Suplementar). A proteína total foi determinada pelo método clássico de Kjeldahl (Equação S5, Informação Suplementar), utilizando bloco digestor (TE 07D) e destilador (TE 036/1) da marca Tecnal® (Piracicaba, SP, Brasil). Os lipídeos foram extraídos pelo método de Soxhlet (Equação S6, Informação Suplementar) em extrator Tecnal® (TE 044; Piracicaba, SP, Brasil) com éter etílico (Synth; Diadema, SP, Brasil). Os carboidratos (Equação S7, Informação Suplementar) e o valor calórico total (Equação S8, Informação Suplementar) foram obtidos por cálculo teórico, conforme detalhado no material suplementar.

2.4. Determinação de metais

As concentrações de cálcio (Ca), sódio (Na), ferro (Fe) e fósforo (P) foram determinadas por Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES), em equipamento Shimadzu ICPE-9820 (Shimadzu Corp., Kyoto, Japão), conforme o método AOAC 985.01.[13] As curvas de calibração foram construídas com padrões multielementares certificados (r > 0,999). Os limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) foram, respectivamente: Fe (0,002 e 0,008 mg/L), P (0,017 e 0,075 mg/L), Ca (0,011 e 0,022 mg/L) e Na (0,021 e 0,045 mg/L). As condições operacionais e espectrais detalhadas do ICP-OES estão descritas na Informação Suplementar (Tabela S1).

2.5. Determinação de aflatoxina M1

A determinação quantitativa de aflatoxina *M1* (AFM_1) foi realizada por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE), em sistema Shimadzu (módulos LC-20AD, SIL-20A, CTO-20A e RF-20A; software LabSolutions), utilizando detector de fluorescência (λ_{ex} = 360 nm, λ_{em} = 400 nm) e coluna C_{18} Shim-pack GIST (150 × 4,6 mm, 5 µm) mantida a 30 °C. A fase móvel consistiu em água:acetonitrila:metanol (60:20:20 v/v/v) em fluxo isocrático de 1,0 mL/min e volume de injeção de 50 µL. O procedimento de extração (15 g de queijo) e purificação em coluna de imunoafinidade seguiu o protocolo AOAC (1995) (detalhes na Seção 2.5. IS).[13,14] A curva analítica (0,05 a 2,0 µg/L) apresentou r > 0,999. Os limites do método foram LD = 0,005 µg/kg e LQ = 0,010 µg/kg.

2.6. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e complementados pelo teste de comparações múltiplas de Kramer-Tukey. Os resultados foram expressos como média ± erro padrão da média, com nível de significância de 5% (p 0,05).[15]

3. Resultados e Discussão

Os parâmetros de acidez (% SAN) e ácido lático (%) não apresentaram diferenças significativas (p > 0,05) entre as regiões MTM e NM, com valores de p de 0,4577 e 0,4087, respectivamente. Por outro lado, os valores de pH divergiram de forma altamente significativas entre as regiões analisadas (p = 0,003), conforme exposto na Tabela 1.

Tabela 1. *Média* ± erro padrão dos teores de acidez (% SAN), ácido lático (%) e pH de queijos minas artesanal provenientes da MTM e NM, Brasil. Análise estatística (ANOVA) complementada com o teste de Kramer – Turkey em nível de 5%.

Ensaio	Região	
	MTM	NM
Acidez	1,55 ± 0,12 a[1]	1,37 ± 0,22 a
Ácido lático	0,14 ± 0,01 a	0,12 ± 0,02 a
pH	6,55 ± 0,04 a	6,93 ± 0,08 b

[1] Teste Kramer-Turkey em nível de 5%.

Em relação ao perfil mineral, os teores de Ca, Na, Fe e P não divergiram estatisticamente entre as regiões MTM e NM (p > 0,05), conforme apresentado na Tabela 2. Sob o ponto de vista regulatório, as normativas nacionais para queijos não estabelecem padrões ou limites para a composição mineral do produto acabado.[16] No entanto, a homogeneidade observada para o Ca e o P guarda estrita relação com a uniformidade nos teores de proteínas das amostras, visto que estes macrominerais estão intrinsecamente associados à estabilidade e estruturação da matriz de caseína durante a coagulação enzimática.[17]

Tabela 2. Média ± erro padrão de Ca (mg 100 g^{-1}), Na (mg 100 g^{-1}), Fe (mg 100 g^{-1}) e P (mg 100 g^{-1}) de queijos minas artesanal provenientes da MTM e NM. Análise estatística (ANOVA) complementada com o teste de Kramer – Turkey em nível de 5%.

Ensaio	Região	
	MTM	NM
Ca	862,89 ± 14,96 a[1]	864,19 ± 14,09 a
Na	422,92 ± 22,93 a	422,87 ± 22,32 a
Fe	0,41 ± 0,02 a	0,42 ± 0,02 a
P	511,29 ± 16,17 a	510,13 ± 14,93 a

[1] Teste Kramer-Turkey em nível de 5%.

Em relação à aflatoxina *M1*, os níveis não foram detectáveis pelo método utilizado (Tabela 3). Os parâmetros de umidade (p = 0,0083), resíduo mineral fixo (p = 0,0069) e calorias (p = 0,0384) apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre as regiões analisadas (Tabela 3).

A composição de macronutrientes (proteínas, lipídeos e carboidratos) apresentou-se estatisticamente homogênea

Tabela 3. Média ± erro padrão de umidade (%), lípideo (%), proteína (%), carboidrato (%), caloria (Kcal/100 g), resíduo mineral fixo (%) e aflatoxina *M1 (M1)* em queijos minas artesanal provenientes da Mesorregião do Triangulo Mineiro (MTM) e Noroeste de Minas (NM), Brasil. Análise estatística (ANOVA) complementada com o teste de Kramer – Turkey em nível de 5%

Ensaio	Região	
	MTM	NM
Umidade (%)	36,18 ± 1,16 a1	41,37 ± 1,46 b
Lipídeo (%)	29,11 ± 0,90 a	27,39 ± 0,66 a
Proteína (%)	21,58 ± 0,99 a	21,60 ± 0,69 a
Carboidrato (%)	8,00 ± 1,15 a	5,53 ± 0,67 a
Caloria (Kcal 100 g^{-1})	380,28 ± 8,77 a	354,98 ± 7,89 b
Resíduo mineral fixo (%)	5,13 ± 0,32 a	4,12 ± 0,16 b
Aflatoxina *M1* (μg L^{-1})	nd*	nd*

[1] Teste Kramer-Turkey em nível de 5%. *Não detectável pelo método HPLC.

entre as regiões MTM e NM ($p > 0,05$, Tabela 3), sugerindo que o perfil centesimal do leite cru utilizado como matéria-prima é comparável entre as microrregiões. Especificamente sobre a fração proteica, os teores obtidos nas regiões MTM e NM (Tabela 3) atendem ao requisito mínimo genérico de 20% estipulado pela legislação brasileira para queijos.[16] Esses valores assemelham-se ao percentual médio de 21,33% reportado para o queijo Minas artesanal na microrregião do Cerrado.[18] Na literatura, no entanto, o teor de proteínas em queijos artesanais mineiros exibe ampla flutuação regional, com registros inferiores na microrregião do Serro (cerca de 17,06%)[19,20] e valores superiores na Serra da Canastra (entre 23,50% e 24,42%).[21] Essa amplitude evidencia que a proteína é um dos constituintes mais susceptíveis às variações empíricas do processo artesanal, sendo diretamente afetada pelo tipo de salga, tempo de maturação e eficiência do coalho. Em cenários de produção informal, a ausência de padronização na temperatura de coagulação, na dosagem de insumos e nos tempos de corte e mexedura da massa dita o balanço final desse nutriente; tecnologicamente, a quebra mecânica da coalhada antes de atingir o 'ponto' ideal desestabiliza a matriz de caseína, resultando em perdas por arraste proteico para o soro.[22]

Por outro lado, a variabilidade do queijo Minas artesanal manifestou-se de forma crítica nas etapas pós-coagulação, com diferenças significativas para umidade (p = 0,0083), resíduo mineral fixo (p = 0,0069), pH (p = 0,003) e valor calórico (p = 0,0384).

O maior teor de umidade encontrado na região NM indica que o grau de dessoragem (sinérese) e a pressão aplicada durante a prensagem são substancialmente distintos entre as localidades, o que também impacta o enquadramento legal do produto; de acordo com os limites de umidade da Portaria MAPA nº 146/1996,[16] as amostras da região MTM classificam-se como queijo de média umidade (36,0% a 45,9%), enquanto a região NM tangencia o limite inferior dessa mesma categoria. Flutuações nos teores de umidade para o queijo Minas artesanal também são reportadas na literatura, com médias de 44,71% na microrregião do Cerrado,[18] 47,24% para amostras frescas em Uberaba – MG,[13] e variações de 39,0% a 49,5% em Araxá – MG.[20] Esses contrastes, bem como as divergências observadas entre MTM e NM, são governados por variações intrínsecas ao processo produtivo artesanal, onde fatores como a temperatura de coagulação, quantidade de agente coagulante, corte, agitação, etapas de salga e condições de maturação exercem influência direta sobre a retenção de soro na massa.[20]

Como consequência direta do manejo tecnológico empírico e não supervisionado da massa, o resíduo mineral fixo (RMF) revelou-se superior na região MTM, variação significativa entre as regiões (p = 0,0069), visto que a menor retenção de umidade nessas amostras resultou em uma maior concentração de sólidos totais e, por conseguinte, do conteúdo mineral.[17] Curiosamente, essa divergência não foi acompanhada pelo teor de cloreto de sódio (NaCl), o qual permaneceu estatisticamente homogêneo entre as duas localidades (p = 0,4706**,** Tabela 2). Embora a Portaria MAPA nº 146/1996 não estipule limites numéricos fixos para cinzas ou salga em queijos, a uniformidade do NaCl sugere que os produtores de ambas as regiões adotam perfis de salga semelhantes, indicando que a diferenciação observada no RMF decorre de outros elementos minerais endógenos do leite ou de variações no rendimento da massa.[16]

As variações no processamento também se refletiram no perfil de acidificação, conforme exposto na Tabela 1. O pH médio da NM (6,93 ± 0,08) foi significativamente superior ao da MTM (6,55 ± 0,04). Embora os valores de acidez titulável (% SAN) e de ácido lático não tenham apresentado diferença significativa, o pH é um indicador crucial do tempo e da extensão da fermentação lática. Essa tendência de alcalinização ou atraso na acidificação corrobora os achados de Dias *et al*.[23] que ao avaliarem queijos Minas frescal de origem artesanal observaram valores elevados de pH, situando-se na faixa entre 6,51 e 6,76. Em contrapartida, avaliando a cinética de acidificação em queijos experimentais sob refrigeração (8 ºC) por 21 dias, Buriti *et al*.[24] observaram um declínio progressivo nos valores de pH, os quais reduziram de 6,16 no primeiro dia para 5,38 ao final do armazenamento. O contraste entre esse declínio esperado e os elevados valores próximos à neutralidade obtidos neste estudo, especialmente na região NM (6,93), sugere que os queijos foram analisados em um estágio consideravelmente precoce de frescor ou que a atividade microbiológica fermentativa nativa se mostrou incipiente, expondo o produto informal a um cenário de vulnerabilidade sanitária e instabilidade físico-química.[20]

Os teores de lipídios observados para o queijo Minas artesanal de ambas as regiões (Tabela 3) apresentam-se em conformidade com o perfil esperado para essa variedade. Esses resultados alinham-se fortemente aos dados reportados para o queijo Minas artesanal da microrregião do Cerrado (27,66%),[18] e guardam estrita correspondência com as flutuações documentadas em outras áreas tradicionais de Minas Gerais, cujos registros variam de 23,62% a 28,00% no Serro[20] e de 27,00% a 29,50% na Serra da Canastra.[21] Na literatura, essa variabilidade ou estabilidade nos teores de matéria gorda do produto final é descrita como um reflexo direto da composição do leite cru utilizado como matéria-prima. A gordura é o constituinte lácteo mais susceptível a oscilações, sendo severamente influenciada por fatores zootécnicos e ambientais que mudam entre as propriedades, tais como a genética do rebanho, estágio de lactação, idade, manejo nutricional e estresse térmico dos animais.[25]

Para os sólidos não gordurosos (extrato seco desengordurado - ESD), os valores médios foram de 34,71% ± 1,55 e 31,25% ± 0,97, respectivamente, em MTM e NM. Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas nos teores de lipídios e sólidos não gordurosos (ESD) entre as regiões analisadas, com valores de p de 0,1323 e 0,2106, respectivamente. Ao avaliar a Matéria Gorda no Extrato Seco (MGES), os queijos das regiões MTM (45,61%) e NM (46,71%) enquadram-se na classificação de queijos gordos, de acordo com os parâmetros gerais estabelecidos pela Portaria MAPA nº 146/1996.[16]

O Queijo Minas Artesanal possui notável valor nutricional, destacando-se principalmente como fonte de minerais essenciais. Os teores de cálcio (Ca) e fósforo (P) foram excepcionalmente altos e homogêneos entre as regiões. A média de Ca foi de 863 mg a cada 100 g de queijo, e a de P foi de 511 mg a cada 100 g. Essa concentração de Ca representa mais de 86% da ingestão diária recomendada (IDR) de 1000 mg pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA).[26] Da mesma forma, o teor de P atende a cerca de 73% da necessidade diária recomendada de 700 mg.[27]

Do ponto de vista tecnológico, a elevada retenção de Ca e P é um fator determinante para a qualidade do queijo. Esses minerais, na forma de fosfato de cálcio coloidal, são fundamentais na estabilização das micelas de caseína. A eficiência do processo artesanal do QMA na precipitação desses nutrientes junto à coalhada contribui diretamente para a textura final do produto e maximiza a densidade nutricional.[28,29]

Adicionalmente, o teor de cloreto de sódio (NaCl) foi homogêneo (p = 0,4706), resultando em um conteúdo médio de sódio de 422,92 mg a cada 100 g de queijo. Esse valor é significativamente inferior ao encontrado em queijos de longa maturação, como o queijo parmesão ralado (2014,56 mg a cada 100 g). Esse perfil moderado de sódio é favorável à saúde cardiovascular e alinha o QMA às estratégias de redução do consumo de sal,[30] reforçando seu potencial como alimento funcional.

A aflatoxina *M1* (AFM1) é um metabólito tóxico produzido por fungos do gênero *Aspergillus*, classificado como carcinógeno humano do Grupo 1 pela Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC). Sua presença no leite, resultante da ingestão de alimentação animal contaminada por aflatoxina *B1*, representa uma grande preocupação de saúde pública.[31] O queijo é o derivado lácteo mais susceptível a acumular AFM1 devido à alta afinidade dessa micotoxina pelas caseínas. Consequentemente, a concentração de AFM1 no queijo pode ser superior à do leite original. Os processos tradicionais de fabricação, como a pasteurização ou a esterilização, não são suficientes para destruir a AFM1, tornando a prevenção na fonte (alimentação animal) a única barreira eficaz.[8]

O presente estudo constatou que a AFM1 não foi detectável (*nd*) em nenhuma das 100 amostras de QMA analisadas das regiões MTM e NM. A análise foi realizada por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE), uma metodologia conhecida por sua sensibilidade. A ausência de detecção nessas amostras, apesar de se tratar de queijos artesanais não inspecionados, sugere a adoção de Boas Práticas Agrícolas (BPA) eficientes no controle de qualidade da ração bovina nas propriedades envolvidas.

No entanto, esse achado local deve ser interpretado no contexto epidemiológico mais amplo do Brasil. Estudos em outras regiões, como em Pernambuco, revelaram uma incidência de AFM1 de 100% em queijos artesanais (coalho e muçarela artesanal), com níveis detectáveis variando de 0,04 ± 0,004 μg/kg a 0,07 ± 0,02 μg/kg.[32] Embora esses níveis tenham se mantido abaixo do Limite Máximo Permitido (LMP) estabelecido pela legislação brasileira (2,5 μg/kg para queijos),[33] a elevada taxa de incidência revela uma ampla disseminação do risco.

A relevância da segurança alimentar é ainda mais acentuada pela disparidade regulatória internacional. O LMP brasileiro de 2,5 μg/kg é dez vezes mais permissivo do que o padrão estabelecido pela União Europeia, que é de 0,25 μg/kg.[34] O cumprimento da legislação nacional, portanto, não assegura a segurança máxima sob os padrões toxicológicos mais rigorosos adotados em outras jurisdições. O resultado de não detecção em MTM/NM é encorajador, mas reforça a necessidade de vigilância constante e de adoção de limites mais restritivos para proteger a saúde pública, especialmente considerando o consumo do QMA por todas as faixas etárias.

4. Conclusão

A avaliação detalhada do QMA das regiões MTM e NM revela um produto de alta complexidade tecnológica

e excelente valor nutricional, cujas características estão vinculadas às práticas artesanais de produção. A composição de macronutrientes e elementos traço essenciais mostrou-se homogênea, indicando uma base de matéria-prima consistente.

As diferenças estatisticamente significativas em umidade, resíduo mineral fixo e pH entre as regiões, no entanto, demonstram que a variabilidade reside principalmente no manejo da dessoragem e no perfil fermentativo. Essa variação define a categoria final do produto (por exemplo, Frescal vs. Meia Cura) e exige que a regulamentação do QMA se aprofunde no mapeamento e controle dessas nuances regionais para preservar a identidade do queijo e garantir a qualidade final.

O QMA é avaliado como um alimento denso em nutrientes, com teores elevados de cálcio e fósforo, superando as concentrações encontradas em diversos queijos internacionais padronizados. Adicionalmente, o conteúdo moderado de sódio (Na), que está em conformidade com as recomendações de ingestão diária da OMS, reforça o potencial do QMA para contribuir positivamente com a dieta brasileira, particularmente no combate a deficiências nutricionais.

A não detecção de aflatoxina *M*1 nas 100 amostras de QMA analisadas por CLAE é um resultado importante, sugerindo boas práticas no manejo da ração animal nas regiões MTM e NM. A alta incidência dessa micotoxina em outros queijos artesanais brasileiros e a classificação da AFM1 como carcinógeno do Grupo 1, contudo, exigem vigilância contínua. A comparação com o padrão europeu, dez vezes mais rigoroso do que o limite brasileiro, destaca a necessidade de reavaliação dos Limites Máximos Permitidos nacionais, visando à proteção da saúde do consumidor e à sustentabilidade da cadeia produtiva do QMA.

Informações Suplementares

Os procedimentos detalhados para as determinações físico-químicas e de composição centesimal, incluindo as equações matemáticas de cálculo para acidez, umidade, resíduo mineral fixo, cloreto de sódio, proteínas, lipídeos, carboidratos e valor calórico, são disponibilizados nas informações suplementares, equações S1 a S8, e estão disponíveis gratuitamente em https://rvq.sbq.org.br/pdf/AR2026-5197-MS.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Serviço de Orientação à Alimentação Pública, do Departamento de Produção Animal e Medicina Veterinária Preventiva, da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), bem como à Fundação de Apoio ao Hospital Veterinário da UNESP (FUNVET), pelo suporte técnico e financeiro concedido.

Contribuições dos Autores

Sarah Cristina de Oliveira: Investigação; Escrita – rascunho original; **Fernanda Raghiante:** Investigação; Escrita – rascunho original; **Aryele Nunes da Cruz Encide Sampaio:** Investigação; Escrita – rascunho original; **Rafael Alves Santomauro:** Escrita – rascunho original; Escrita – revisão e edição; **Mirella Silva Guinda Ribeiro:** Escrita – rascunho original; Escrita – revisão e edição; **Gabriella Rodrigues Cazolda:** Escrita – rascunho original; Escrita – revisão e edição; **Fábio Sossai Possebon:** Escrita – revisão e edição; **Juliano Gonçalves Pereira:** Escrita – revisão e edição; **Otávio Augusto Martins:** Conceituação; Análise Formal; Metodologia; Administração de projeto; Escrita – rascunho original; Escrita – revisão e edição.

Referências Bibliográficas

1. Elwood, P. C.; Pickering, J. E.; Givens, D. I.; Gallacher, J. E.; The Consumption of Milk and Dairy Foods and the Incidence of Vascular Disease and Diabetes: An Overview of the Evidence. *Lipids* **2010**, *45*, 925. [Crossref] [PubMed]
2. Higurashi, S.; Ogawa, A.; Nara, T. Y.; Kato, K.; Kadooka, Y.; Cheese consumption prevents fat accumulation in the liver and improves serum lipid parameters in rats fed a high-fat diet. *Dairy Science & Technology* **2016**, *96*, 539. [CrossRef]
3. Costa, R. G. B.; Sobral, D.; Paiva, C. S.; Rodrigues, R. F.; Lima, M. S.; Paula, J. C. J.; Fonseca, N. O.; Silva, M. P.; Borges, M. C. O.; Martins, M. S.; Artisanal Minas cheeses – a brief review. *Research, Society and Development* **2022**, *11*, e16911830012. [Crossref]
4. Brasil; Decreto nº 9.918, de 18 de julho de 2019. Diário Oficial da União: Brasília, 2019. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/d9918.htm>. Acesso em: 20 de julho de 2026.
5. Minas Gerais; Lei nº 23.157, de 18 de dezembro de 2018. Diário do Executivo: Belo Horizonte, 2018. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/LEI/23157/2018/?cons=1>. Acesso em: 20 de julho de 2026.
6. Bovo, F.; Corassin, C. H.; Rosim, R. E.; Oliveira, C. A. F.; Efficiency of lactic acid bacteria strains for decontamination of aflatoxin M1 in phosphate buffer saline solution and in skimmed milk. *Food and Bioprocess Technology* **2013**, *6*, 2230. [Crossref]
7. Hymery, N.; Vasseur, V.; Coton, M.; Mounier, J.; Jany, J.-L.; Barbier, G.; Coton, E.; Filamentous Fungi and Mycotoxins in Cheese: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* **2014**, *13*, 437. [Crossref] [PubMed]

8. Iqbal, S. Z.; Jinap, S.; Pirouz, A. A.; Faizal, A. R. A.; Aflatoxin M_1 in milk and dairy products, occurrence and recent challenges: A review. *Trends in Food Science & Technology* **2015**, *46*, 110. [Crossref]
9. Elkak, A.; Atat, O. E.; Habib, J.; Abbas, M.; Occurrence of aflatoxin M1 in cheese processed and marketed in Lebanon. *Food Control* **2012**, *25*, 140. [Crossref]
10. Pietri, A.; Fortunati, P.; Mulazzi, A.; Bertuzzi, T.; Enzyme-assisted extraction for the HPLC determination of aflatoxin M_1 in cheese. *Food Chemistry* **2016**, *192*, 235. [Crossref] [PubMed]
11. Heidari, E.; Nejati, R.; Sayadi, M.; Loghmani, A.; Dehghan, A.; Nematollahi, A.; Health risk assessment of aflatoxin M1 exposure through traditional dairy products in Fasa, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment* **2025**, *197*, 69. [Crossref] [PubMed]
12. Silva, N. C.; Tunes, R. M. M.; Cunha, M. F.; Avaliação química de queijos Minas artesanais frescos e curados em Uberaba, MG. *PUBVET - Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia* **2012**, *6*, 1358. [Crossref]
13. Association of Official Analytical Chemists (AOAC); *Official Methods of Analysis*, 16a. ed., AOAC: Arlington, 1995.
14. Association of Official Analytical Chemists (AOAC); *Official Methods of Analysis*, 15a. ed., AOAC: Washington, 1995.
15. Montgomery, D. C.; *Design and Analysis of Experiments*, 10a. ed., Wiley: Hoboken, 2020.
16. Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria MAPA nº 146, de 07 de março de 1996. Diário Oficial da União: Brasília, 1996. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-animal/legislacao/t1461996RTqueijomanteigacremedeleitegorduralctealeitefluido.pdf>. Acesso em: 20 de julho de 2026.
17. Fox, P. F.; Guinee, T. P.; Cogan, T. M.; McSweeney, P. L. H.; *Fundamentals of Cheese Science*, 2nd. ed.; Springer: Boston, 2017.
18. Lopes, I. M. A.; Rocha, G. F.; Mota, G. M.; Silva, L. A. C.; Castro, R. O.; Melo, C. M. T.; Caracterização físico-química de queijo Minas Artesanal da microrregião do cerrado. *Research, Society and Development* **2022**, *11*, e18411729874. [Crossref]
19. Oliveira, D. F.; Porto, M. A. C.; Bravo, C. E. C.; Tonial, I. B.; Caracterização físico-química de Queijos Minas Artesanal produzidos em diferentes microrregiões de Minas Gerais. *Oikos: Política Social Em Debate* **2013**, *24*, 185. [Crossref]
20. Machado, E. C.; Ferreira, C. L. L. F.; Fonseca, L. M.; Soares, F. M.; Pereira Júnior, F. N.; Características físico-químicas e sensoriais do queijo Minas artesanal produzido na região do Serro, Minas Gerais. *Food Science and Technology* **2004**, *24*, 516. [Crossref]
21. Rezende, P. H. L.; Mendonça, E. P.; Melo, R. T.; Coelho, L. R.; Monteiro, G. P.; Rossi, D. A.; Aspectos sanitários do queijo Minas artesanal comercializado em feiras livres. *Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes* **2010**, *65*, 36. [Crossref]
22. Spreer, E.; *Lactologia Industrial*, 2a. ed., Zaragoza: Editora Acríbia, 1991.
23. Dias, B. F.; Ferreira, S. M.; Carvalho, V. S.; Soares, D. S. B.; Qualidade microbiológica e físico-química de queijo minas frescal artesanal e industrial. *Revista de Agricultura Neotropical* **2016**, *3*, 57. [Crossref]
24. Buriti, F. C. A.; Rocha, J. S.; Saad, S. M. I.; Incorporation of *Lactobacillus acidophilus* in Minas fresh cheese and implicatons for textural and sensorial properties during storage. *International Dairy Journal* **2005**, *15*, 1279. [Crossref]
25. Fonseca, L. F. L.; Santos, M. V.; *Qualidade do leite e controle de mastite*. São Paulo: Lemos Editorial, 2000.
26. Brasil; Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA); Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 429, de 8 de outubro de 2020. Diário Oficial da União: Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-de-diretoria-colegiada-rdc-n-429-de-8-de-outubro-de-2020-282070599>. Acesso em: 20 de julho de 2026.
27. Brasil. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003. Diário Oficial da União: Brasília, 2003. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2003/rdc0360_23_12_2003.html>. Acesso em: 20 de julho de 2026.
28. Gaucheron, F.; The minerals of milk. *Reproduction Nutrition Development* **2005**, *45*, 473. [Crossref] [PubMed]
29. Dalgleish, D. G.; Corredig, M.; The Structure of the Casein Micelle of Milk and Its Changes During Processing. *Annual Review of Food Science and Technology* **2012**, *3*, 449. [Crossref] [PubMed]
30. Pastorino, A. J.; Hansen, C. L.; McMahon, D. J.; Effect of Salt on Structure-Function Relationships of Cheese. *Journal of Dairy Science* **2003**, *86*, 60. [Crossref] [PubMed]
31. Marchèse, S.; Polo, A.; Ariano, A.; Velotto, S.; Costantini, S.; Severino, L.; Aflatoxin B1 and M1: Biological Properties and Their Involvement in Cancer Development. *Toxins* **2018**, *10*, 214. [Crossref] [PubMed]
32. Silva, I. M. M.; Cruz, A. G.; Ali, S.; Freire, L. G. D.; Fonseca, L. M.; Rosim, R. E.; Corassin, C. H.; Oliveira, R. B. A.; Oliveira, C. A. F.; Incidence and levels of aflatoxin M1 in artisanal and manufactured cheese in Pernambuco State, Brazil. *Toxins* **2023**, *15*, 182. [Crossref] [PubMed]
33. Brasil. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA); Instrução Normativa - IN nº 160, de 1º de julho de 2022. Diário Oficial da União: Brasília, 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-in-n-160-de-1-de-julho-de-2022-413367081>. Acesso em: 20 de julho de 2026.
34. União Europeia. Regulamento (UE) 2023/915 da Comissão, de 25 de abril de 2023. Jornal Oficial da União Europeia: Bruxelas, 2023. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/915/oj?locale=pt>. Acesso em: 20 de julho de 2026.