



COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE QUEIJOS MINAS ARTESANAL DA REGIÃO DO SERRO-MG

Flaviana Coelho Pacheco^{1,2}, Juliana Cássia Gomes Rocha Lelis², Tatiane Teixeira Tavares², Hiasmyne Silva de Medeiros^{1,2}, Irene Andressa^{1,2}, José Antônio de Queiroz Lafetá Júnior²

¹*Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n, Campus Universitário, Viçosa, MG 36570-900, Brasil
(flaviana.pacheco@ufv.br)*

²*Instituto de Laticínios Cândido Tostes (EPAMIG), Tenente Luis de Freitas, 116 - Santa Terezinha, Juiz de Fora - MG, 36045-560, Brasil*

Resumo: Os resultados reológicos indicaram comportamento típico de sólidos viscoelásticos para todas as amostras, com predominância do módulo de armazenamento (G') sobre o módulo de perda (G'') em toda a faixa de frequência. Observou-se aumento de G' e G'' com a frequência e valores de $\tan \delta < 1$, indicando caráter predominantemente elástico. O queijo QMA 4 destacou-se pelos maiores valores de rigidez e tensão de cisalhamento. Os ensaios de fluência evidenciaram deformação dependente do tempo e recuperação parcial, permitindo diferenciar os queijos quanto à estabilidade estrutural.

Palavras-chave: Viscoelasticidade; comportamento mecânico; produtos lácteos artesanais.

INTRODUÇÃO

Os produtos lácteos estão entre os alimentos básicos mais consumidos no mundo todo, e tudo isso se deve a sua rica composição nutricional (Garcia et al., 2019). Dentre os alimentos lácteos, o queijo, constitui uma importante matriz alimentar, oferecendo textura e propriedades reológicas de grande apreciação pelos consumidores (Silva et al., 2025).

O queijo Minas artesanal (QMA) é um dos produtos lácteos mais tradicionais do Brasil, produzido a partir de leite cru, coalho, sal e soro fermentado, sendo caracterizado pela presença de bactérias ácido-láticas endógenas que contribuem significativamente para suas propriedades sensoriais e estruturais (Nogueira et al., 2021). Produzido exclusivamente no estado de Minas Gerais, o QMA representa importante patrimônio cultural e identidade regional, com destaque para regiões oficialmente reconhecidas, como o Serro, Canastra e Serra do Salitre (Bombachi et al., 2024). Apesar de seguirem um processo produtivo semelhante, adaptações relacionadas às tradições locais, às condições ambientais e às práticas de prensagem e maturação resultam em diferenças marcantes na composição e na estrutura dos queijos (Brasil, 2024).

Essas variações influenciam diretamente parâmetros como umidade, teor de gordura e grau de proteólise,

os quais afetam o comportamento mecânico e a organização da matriz proteica do queijo. Assim, técnicas capazes de avaliar a resposta estrutural dos queijos à deformação tornam-se ferramentas relevantes para a compreensão de sua identidade tecnológica.

A caracterização reológica tem sido amplamente utilizada para descrever o comportamento viscoelástico de queijos, uma vez que permite avaliar a interação entre os componentes estruturais e sua resposta sob diferentes condições de tensão, frequência e tempo de aplicação da carga. Parâmetros como os módulos viscoelásticos, o fator de perda e o comportamento de fluência fornecem informações sensíveis sobre a rigidez, a estabilidade estrutural e a capacidade de recuperação elástica das matrizes lácteas, sendo úteis na discriminação de produtos com diferentes origens e processos de fabricação.

Embora estudos anteriores tenham empregado técnicas microbiológicas, físico-químicas, cromatográficas e espectroscópicas para diferenciar queijos artesanais por região e autenticidade (Perin et al., 2017; Sant'Anna et al., 2019; Silva et al., 2021; Silva et al., 2023), a aplicação de ferramentas reológicas ainda é pouco explorada nesse contexto.

Dessa forma, a análise reológica surge como uma abordagem complementar e promissora para caracterizar a estrutura dos queijos Minas artesanais,

contribuindo para a compreensão de sua heterogeneidade e para o fortalecimento de critérios técnicos associados à identidade regional e à qualidade desses produtos.

MATERIAL E MÉTODOS

Queijos Minas Artesanal provenientes de produtores artesanais da região do Serro, Minas Gerais, Brasil, foram selecionados no período de 20 a 31 de outubro, com o objetivo de representar a variabilidade típica dos produtos elaborados na região. Foram avaliadas cinco amostras distintas (QMA 1 a QMA 5), oriundas de diferentes unidades produtivas, elaboradas com leite bovino e sem intervenções ou padronizações adicionais no processo de fabricação, a fim de preservar suas características originais. As amostras foram adquiridas diretamente dos produtores, transportadas sob refrigeração e analisadas conforme suas condições originais.

As propriedades reológicas dinâmicas foram determinadas por ensaios de varredura de frequência em reômetro Anton Paar (MCR 301), utilizando geometria de placas paralelas. As amostras foram previamente equilibradas a 20 ± 2 °C e submetidas a deformação constante de 0,02%, em uma faixa de frequência de 0,1 a 100 Hz, após definição da região viscoelástica linear.

O comportamento viscoelástico dependente do tempo foi avaliado por meio de testes de fluência e recuperação (creep test), aplicando-se uma força constante de 0,73 N por 180 s, seguida de 180 s de recuperação. Os resultados foram expressos em termos de complância ao longo do tempo, permitindo a caracterização da resistência à deformação e da capacidade de recuperação elástica dos queijos Minas Artesanal analisados.

Todos os experimentos foram realizados em duplicata e os resultados expressos como média $\pm$ desvio padrão. Os dados foram analisados por análise de variância (ANOVA) e as diferenças entre as médias foram avaliadas pelo teste de Tukey, com nível de significância de 5% ($p < 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas usando software Statistica versão 9.2 (versão 9.2, StatSoft Inc., EUA).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta o comportamento dos módulos viscoelásticos dos queijos Minas Artesanal (QMA 1–QMA 5) em função da frequência. Para todas as amostras, o módulo de armazenamento (G') manteve-se superior ao módulo de perda (G'') ao longo de toda a faixa de frequência avaliada (0–10 Hz). Esse perfil sugere a presença de uma rede estrutural contínua, associada principalmente à matriz proteica do queijo.

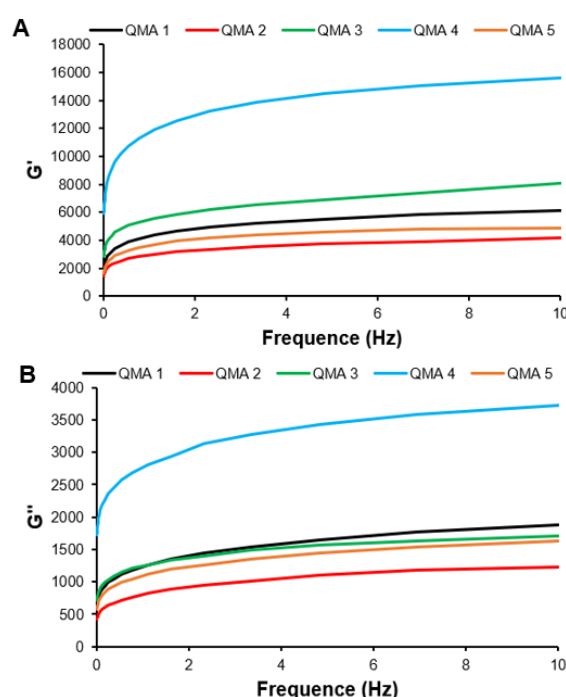


Figura 1. Propriedades viscoelásticas em função da frequência dos Queijos Minas Artesanal (QMA 1–QMA 5), (A) Módulo de armazenamento (G') e (B) módulo de perda (G'').

Observou-se aumento progressivo de G' e G'' com o incremento da frequência, comportamento característico de sistemas alimentares estruturados, nos quais as interações intermoleculares tornam-se mais efetivas em escalas de tempo menores. Entre as amostras, o queijo QMA 4 apresentou os maiores valores de G' e G'' em toda a faixa de frequência, indicando maior rigidez estrutural e maior resistência à deformação. Em contraste, QMA 2 exibiu os menores valores desses parâmetros, sugerindo uma matriz mais deformável e com menor capacidade de armazenamento de energia elástica.

As amostras QMA 1, QMA 3 e QMA 5 apresentaram comportamento intermediário, com diferenças graduais nos valores absolutos dos módulos, refletindo variações na organização da rede proteica e na contribuição da fase lipídica. Os resultados indicam que, embora todos os queijos apresentem comportamento viscoelástico semelhante, existem diferenças na intensidade da resposta mecânica, evidenciando a heterogeneidade estrutural dos queijos Minas Artesanal avaliadas.

A Figura 2 apresenta o comportamento do fator de perda ($\tan \delta$) e da tensão de cisalhamento dos queijos Minas Artesanal (QMA 1–QMA 5) em função da frequência de oscilação. Para todas as amostras, os valores de $\tan \delta$ permaneceram inferiores a 1 ao longo de toda a faixa de frequência avaliada, confirmando a predominância do comportamento

elástico em relação ao viscoso, característica típica de matrizes lácteas estruturadas.

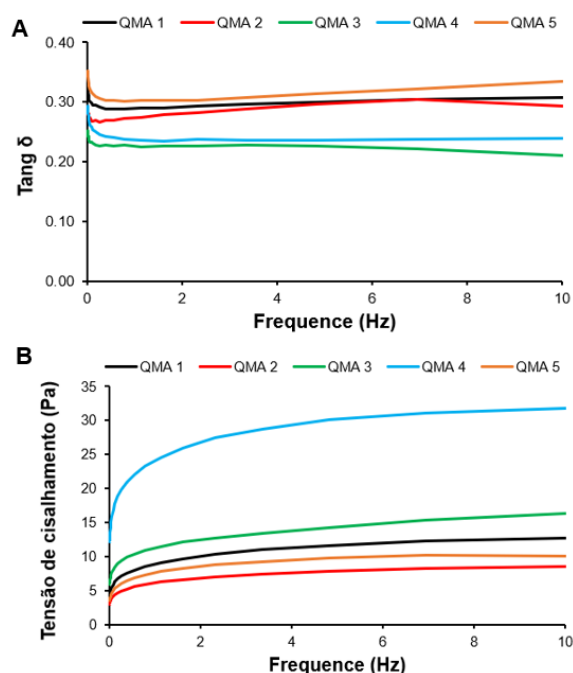


Figura 2. Propriedades viscoelásticas em função da frequência dos Queijos Minas Artesanal (QMA 1–QMA 5), (A) fator de perda ($\tan \delta = G''/G'$) e (B) tensão de cisalhamento em função da frequência de oscilação (0–10 Hz).

Observou-se que os valores de $\tan \delta$ apresentaram variações discretas com o aumento da frequência, indicando estabilidade do equilíbrio entre os componentes elástico e viscoso do sistema. As amostras QMA 2 e QMA 5 exibiram os maiores valores de $\tan \delta$, sugerindo maior contribuição viscosa e menor capacidade de armazenamento de energia elástica, enquanto QMA 3 apresentou os menores valores, indicando uma estrutura mais coesa e elasticamente dominante. As amostras QMA 1 e QMA 4 apresentaram comportamento intermediário, com pequenas variações ao longo da faixa de frequência. A tensão de cisalhamento aumentou progressivamente com o incremento da frequência para todas as amostras, refletindo maior resistência ao escoamento sob condições de deformação oscilatória. O queijo QMA 4 apresentou os maiores valores de tensão de cisalhamento em toda a faixa analisada, evidenciando uma matriz estrutural mais rígida e resistente à deformação. Em contraste, QMA 2 apresentou os menores valores, indicando maior facilidade de deformação.

A Figura 3 apresenta as curvas de fluência e recuperação de fluência dos queijos Minas Artesanal (QMA 1–QMA 5), evidenciando o comportamento viscoelástico dependente do tempo das amostras.

Durante a aplicação da tensão constante, observou-se aumento progressivo da deformação de cisalhamento para todos os queijos, caracterizando o fenômeno de fluência típico de materiais viscoelásticos. Após a remoção da tensão, verificou-se recuperação parcial da deformação, indicando que parte da deformação acumulada foi irreversível, associada ao componente viscoso do sistema.

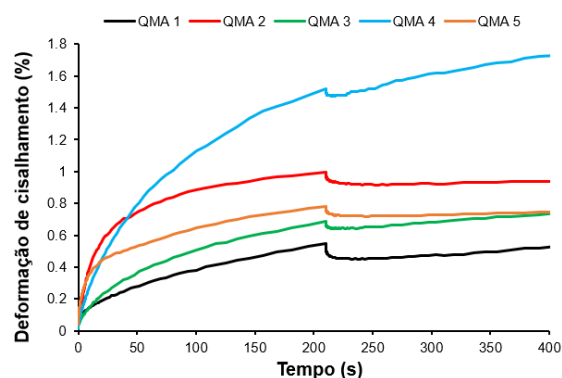


Figura 3. Curvas de fluência e recuperação dos queijos Minas Artesanal (QMA 1–QMA 5).

Entre as amostras, o queijo QMA 4 apresentou os maiores valores de deformação ao longo de todo o ensaio, tanto na fase de fluência quanto na recuperação, sugerindo maior susceptibilidade à deformação sob carga constante e maior contribuição viscosa. Em contraste, QMA 1 exibiu os menores valores de deformação, indicando maior resistência estrutural e menor mobilidade da matriz interna. As amostras QMA 2, QMA 3 e QMA 5 apresentaram comportamento intermediário, com diferenças graduais na taxa de deformação e no nível de recuperação após a remoção da tensão.

A recuperação parcial observada para todas as amostras confirma a coexistência de componentes elásticos e viscosos na matriz dos queijos Minas Artesanal. Amostras com maior recuperação elástica relativa indicam redes proteicas mais organizadas e com maior capacidade de restabelecimento estrutural, enquanto aquelas com maior deformação residual sugerem estruturas menos coesas, possivelmente influenciadas pela maior mobilidade da fase lipídica e pelo grau de proteólise.

CONCLUSÃO

Os resultados reológicos demonstraram que os queijos Minas Artesanal avaliados apresentam comportamento típico de sólidos viscoelásticos, com predominância do caráter elástico e resposta dependente da frequência e do tempo de aplicação da tensão. As diferenças observadas entre as amostras evidenciaram variações significativas na rigidez, na resistência à deformação e na capacidade de recuperação elástica, refletindo a heterogeneidade



estrutural característica dos queijos produzidos na região do Serro–MG. De modo geral, os parâmetros reológicos mostraram-se ferramentas eficientes para a discriminação das amostras e para a compreensão do desempenho mecânico desses produtos, fornecendo subsídios relevantes para a avaliação da qualidade, padronização e aplicação tecnológica dos queijos Minas Artesanal.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro concedido no âmbito do projeto APQ-05967-24 e à Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG).

REFERÊNCIAS

- Bombachi, R., Camargo, A. C., Firmo, M. J. N., Menezes, L. D. M., Fusieger, A., de Carvalho, A. F., & Nero, L. A. Influence of ripening and moisture on the microbiological quality of Minas Artisanal Cheese. *Food Bioscience*, 60, 104364, 2024.
- Brazil. Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Certificado de Registro de Indicação Geográfica BR, Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (2024), p. 2024.
- da Silva, P. C., Salgado, C. A., Martins, M. L., Fusieger, A., Fonseca, H. Á. S., Ferreira, Y. C., ... & de Carvalho, A. F. Use of ora-pro-nóbis as a functional ingredient in the production of artisanal cheese. *LWT*, 118350, 2025.
- Garcia, J. A., Corrêa, R. C., Barros, L., Pereira, C., Abreu, R. M., Alves, M. J., ... & Ferreira, I. C. (2019). Phytochemical profile and biological activities of 'Ora-pro-nobis' leaves (*Pereskia aculeata* Miller), an underexploited superfood from the Brazilian Atlantic Forest. *Food chemistry*, 294, 302-308.
- Nogueira, T. S., Lacorte, G. A., de Oliveira Paciulli, S. D., & Rodrigues, J. F. Different types of packaging influence sensory profile of Canastra artisanal cheese. *Food Packaging and Shelf Life*, 28, 100673, 2021.
- Perin, L. M., Sardaro, M. L. S., Nero, L. A., Neviani, E., & Gatti, M. Bacterial ecology of artisanal Minas cheeses assessed by culture-dependent and-independent methods. *Food microbiology*, 65, 160-169, 2017.
- Sant'Anna, F. M., Wetzels, S. U., Cicco, S. H. S., Figueiredo, R. C., Sales, G. A., Figueiredo, N. C., ... & Souza, M. R. Microbial shifts in Minas artisanal cheeses from the Serra do Salitre region of Minas Gerais, Brazil throughout ripening time. *Food microbiology*, 82, 349-362, 2019.
- Silva, L. K. R., de Jesus, J. C., Onelli, R. R. V., Conceição, D. G., Santos, L. S., & Ferrão, S. P. B. Spectroscopy (MIR), chromatography (RP-HPLC) and chemometrics applied to soluble peptides to discriminate the geographic origin of coalho cheese. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 50, 102678, 2023.
- Silva, L. K., Jesus, J. C., Onelli, R. R., Conceição, D. G., Santos, L. S., & Ferrão, S. P. Discriminating Coalho cheese by origin through near and middle infrared spectroscopy and analytical measures. Discrimination of Coalho cheese origin. *International journal of dairy technology*, 74(2), 393-403, 2021.