



## LEITE A2A2 NA PRODUÇÃO DE QUEIJOS: OPORTUNIDADES E DESAFIOS TECNOLÓGICOS

Ana Carolina Mاتيoli Ferreira Diniz<sup>1\*</sup>, Gabriella Eduarda Pereira dos Santos<sup>2</sup>, Julia Ferreira da Silva<sup>2</sup>, Maria Eduarda Ferreira de Lima<sup>2</sup>, Pedro Henrik da Silva<sup>2</sup> e Guilherme Guerra Alves<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Discente no Curso de Medicina Veterinária – Centro Universitário UNA – Contagem /MG – Brasil – \* Contato: anacarolmاتيoli@gmail.com

<sup>2</sup>Discente do curso de Medicina Veterinária – Centro Universitário UNA – Contagem /MG – Brasil.

<sup>3</sup>Docente do Curso de Medicina Veterinária – Centro Universitário UNA – Contagem/MG – Brasil

### INTRODUÇÃO

O leite A2A2, contendo exclusivamente a  $\beta$ -caseína A2, apresenta propriedades bioquímicas e tecnológicas distintas do leite convencional<sup>1</sup>, impactando a coagulação, firmeza do gel e rendimento de queijos e outros derivados lácteos. Este artigo revisa os desafios na produção de queijos a partir do leite A2A2, como o maior tempo de coagulação e gel inicial menos firme<sup>2</sup>, e evidencia oportunidades para inovação na indústria de laticínios. São discutidos ajustes tecnológicos que permitem produzir esses derivados com qualidade equivalente àqueles produzidos a partir do leite convencional, garantindo rendimento, segurança alimentar e aceitação do consumidor.

### MATERIAL

Para a elaboração deste estudo, foi realizado levantamento bibliográfico com base em artigos científicos publicados entre 2015 e 2024, complementado por observações experimentais sobre o comportamento tecnológico do leite A2A2. As pesquisas foram conduzidas nas bases de dados SciELO, ScienceDirect, PubMed e Google Acadêmico, utilizando os descritores: “leite A2A2”, “coagulação enzimática”, “parâmetros tecnológicos” e “qualidade do gel lácteo”. Foram incluídos artigos científicos, livros técnicos e documentos oficiais voltados à tecnologia de laticínios e ciência do leite.

As obras analisadas abordaram métodos de otimização da coagulação enzimática e os principais fatores que interferem na formação do gel, com ênfase em pH, temperatura, concentração de cálcio e tipo de coalho. Este estudo teve como foco buscar informações sobre como minimizar o tempo de coagulação e aumentar a firmeza do gel, permitindo a produção de queijos com qualidade comparável àqueles produzidos com leite convencional, considerando as particularidades físico-químicas do leite A2A2 e sua aplicabilidade em laticínios de pequeno e médio porte.

### RESUMO DE TEMA

O leite A2A2 tem despertado crescente interesse na indústria de laticínios devido às suas particularidades bioquímicas, funcionais e tecnológicas quando comparado ao leite convencional. Por conter exclusivamente a  $\beta$ -caseína A2, sua digestão não resulta na liberação da  $\beta$ -casomorfina-7 (BCM-7), peptídeo associado ao desconforto gastrointestinal em indivíduos sensíveis, o que contribui para um apelo nutricional diferenciado e maior tolerabilidade digestiva<sup>1</sup>. Além dos possíveis benefícios funcionais, essa composição proteica distinta influencia diretamente as propriedades físico-químicas do leite, modificando parâmetros como coagulação, fermentação e dessoragem, essenciais na produção de queijos, iogurtes e outros derivados lácteos.<sup>2</sup>

Apesar de suas vantagens, a utilização do leite A2A2 na produção de queijos apresenta desafios tecnológicos relevantes, especialmente no processo de coagulação. Estudos demonstram que essa variante gera maior tempo de coagulação, menor firmeza inicial do gel e maior variabilidade na sinérese quando comparado ao leite contendo  $\beta$ -caseína A1<sup>3</sup>. Tais limitações decorrem da menor afinidade da  $\beta$ -caseína A2 pelo cálcio micelar, resultando em micelas menos compactas e, conseqüentemente, em um gel menos firme<sup>1</sup>. Em operações industriais, essas características podem comprometer rendimento, textura e padronização dos produtos lácteos. Portanto, para garantir a viabilidade desses derivados, é imprescindível assegurar não apenas a genética A2, mas também a qualidade higiênico-sanitária do leite, fator determinante para a coagulação correta<sup>4</sup>. Para superar essas limitações, diferentes autores destacam a necessidade de ajustes tecnológicos, como correção do pH, suplementação de cálcio iônico, controle rigoroso da temperatura e seleção específica de culturas lácteas otimizadas para leite A2A2<sup>5</sup>.

Parâmetro avaliado	Leite A1	Leite A2	Observações tecnológicas
pH ideal para coagulação	6,5 – 6,7	6,4 – 6,6	Leite A2 requer pH ligeiramente mais ácido para iniciar a coagulação eficiente.
Tempo de coagulação (RCT)	15 – 25 min	25 – 35 min	Leite A2 apresenta RCT maior, exigindo ajustes de processamento.
Firmeza do gel (a30)	Alta	Moderada	Gel de leite A2 tende a ser menos firme devido à menor ligação cálcica nas micelas.
Adição de CaCl <sub>2</sub>	Opcional (0,01 – 0,02%)	Recomendado (0,02 – 0,04%)	Aumenta a disponibilidade de cálcio iônico e a firmeza do coágulo.
Temperatura ótima de coagulação	32 – 35 °C	35 – 38 °C	Maior temperatura melhora a hidrólise da $\beta$ -caseína A2.
Tipo de coalho recomendado	Convencional (renina bovina ou microbiana)	Específico com maior atividade sobre $\beta$ -caseína A2	Enzimas específicas reduzem o tempo de coagulação e aumentam a firmeza.
Rendimento de queijo	Levemente superior	Levemente inferior	Diferença compensável com otimização dos parâmetros tecnológicos.
Textura do produto final	Estrutura firme e densa	Estrutura mais macia e uniforme	A textura pode ser ajustada com controle de pH e suplementação mineral.

**Tabela 1:** Comparativos entre Leite A1 e A2A2 para a fabricação de queijos (Fonte: Autoral).

A Tabela acima apresenta a comparação entre os principais parâmetros tecnológicos do leite convencional e do leite A2A2 durante o processo de coagulação. Observa-se que o leite A2 requer pH ligeiramente mais ácido (8,4–8,6) para o início eficiente da coagulação, enquanto o leite convencional apresenta faixa ideal entre 6,5 e 6,7, evidenciando diferenças na interação das micelas de caseína. Em relação à firmeza do gel (a30), o leite A2 tende a formar um gel menos firme, devido à menor ligação cálcica nas micelas, o que impacta na estrutura final do coágulo. Quanto à temperatura ótima de coagulação, valores mais elevados (35–38 °C) favorecem a hidrólise da  $\beta$ -caseína A2, melhorando a consistência e o tempo de formação do gel, em comparação ao leite convencional, cuja faixa ideal é de 32–35 °C. No que se refere ao rendimento de queijo, embora o leite A2 apresente rendimento levemente inferior, essa diferença pode ser compensada por ajustes nos parâmetros tecnológicos, como pH, temperatura e concentração de cálcio, possibilitando desempenho produtivo semelhante ao leite convencional.

Por outro lado, o leite A2A2 representa uma oportunidade estratégica de inovação no setor lácteo. Sua associação com menor conforto digestivo e com atributos funcionais o posiciona como um produto de alto valor agregado, alinhado às tendências de consumo voltadas à saúde e bem-estar<sup>5</sup>. Estudos apontam que as proteínas do leite possuem potencialidades nutracêuticas relevantes, atuando positivamente nos sistemas cardiovascular e imunológico, o que reforça o papel do leite como um alimento funcional estratégico<sup>6</sup>. Além disso, o interesse crescente por alimentos *premium* e rastreáveis abre espaço para a criação de novos nichos de mercado, como queijos artesanais diferenciados, bebidas fermentadas funcionais e derivados destinados a consumidores sensíveis à  $\beta$ -casomorfina-7, peptídeo opioide natural produzido a partir da digestão da  $\beta$ -caseína A1, encontrada no leite convencional<sup>7</sup>. O investimento em pesquisa, desenvolvimento tecnológico e comunicação transparente fortalece a competitividade e a sustentabilidade da cadeia produtiva, permitindo que o leite A2A2 consolide seu papel como alternativa relevante e inovadora dentro da indústria de laticínios<sup>8</sup>.



Assim, o leite A2A2 se destaca como um tema de alta relevância tecnológica e comercial, reunindo simultaneamente desafios industriais concretos e amplas oportunidades de inovação, estimulando avanços na pesquisa, no desenvolvimento de processos e na diversificação de produtos lácteos com maior valor agregado.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produção de lácteos a partir do leite A2A2 exige monitoramento rigoroso de fatores críticos, como tempo de coagulação, temperatura, pH e dose de coalho, para garantir a formação adequada do gel e a qualidade do produto final. Embora a coagulação ácida possa se mostrar inicialmente mais eficaz, a coagulação enzimática possibilita a obtenção de produtos com firmeza superior, desde que os parâmetros tecnológicos sejam devidamente ajustados. A aplicação de estratégias como controle de pH, temperatura e suplementação de cálcio permite reduzir as diferenças em relação ao leite convencional, assegurando rendimento, textura e aceitação sensorial compatíveis. Dessa forma, a produção de derivados lácteos a partir do leite A2A2 representa não apenas um desafio tecnológico a ser superado, mas também uma oportunidade de mercado diferenciada, que alia inovação, qualidade e benefícios à saúde do consumidor.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BISUTTI, V. et al. The  $\beta$ -casein (CSN2) A2A2 allelic variant alters milk protein profile and slightly worsens coagulation properties in Holstein cows. **Journal of Dairy Science**, v. 105, n. 3, p. 2048-2059, 2022.
2. FAGGION, S.; BONFATTI, V.  $\beta$ -Casein A2A2 affects milk renneting properties, cheese yield before and after ripening, and alters the texture of Caciotta cheese produced in field conditions. **Journal of Dairy Science**, 2025. (In press).
3. JUAN, B.; TRUJILLO, A.-J. Acid and Rennet Coagulation Properties of A2A2 Milk. **Foods**, v. 11, n. 22, p. 3648, 2022.
4. ZANELA, M. B. et al. **Qualidade do leite e controle de mastite**. Brasília, DF: Embrapa, 2016. (Coleção 500 Perguntas, 500 Respostas).
5. MILKPOINT. **Coagulação do leite: do fluido ao gel**. Disponível em: <https://www.milkpoint.com.br/artigos/cruzadinha/coagulacao-do-leite-do-fluido-ao-gel>. Acesso em: 19 out. 2025.
6. VARGAS, D. P. et al. Potencialidades funcionais e nutracêuticas das proteínas do leite bovino. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 18, n. Ed. Especial, p. 25-35, 2014.
7. BARBOSA, M. G. et al. Leites A1 e A2: revisão sobre seus potenciais efeitos no trato digestório. **Segurança Alimentar e Nutricional**, Campinas, v. 26, p. 1-11, e019004, 2019. DOI: 10.20396/san.v260.8652981.
8. REHAGRO. **Leite A1 e A2A2: quais as principais diferenças**. Disponível em: <https://rehagro.com.br/blog/leite-a1-e-a2-quais-as-principais-diferencas>. Acesso em: 19 out. 2025.