REVISTA TÉCNICA
DA AGROINDÚSTRIA

Vol. 3, n. 2, Artigo 163
23 de novembro de 2026
ISSN 2965-8691

ARTIGO TÉCNICO

NOVAS FRONTEIRAS DA TECNOLOGIA ENZIMÁTICA NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

Autores: Thales da Silva Dias Fernandes, Eliane Mauricio Furtado Martins, Isabela Campelo Queiroz, Juliana Ribeiro Travassos, Pilar Barbosa de Meireles, Késia Pâmela da Silva Evêncio, Jaderson Jose Ivanir Lopes.

[1] Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos (DCTA/ IF SUDESTE MG), Campus Rio Pomba

Autor para correspondência (email): thalesdasilvadias@yahoo.com.br



DESTAQUE

A engenharia enzimática otimiza processos alimentícios, melhora a qualidade dos produtos e promove sustentabilidade por meio de enzimas inovadoras, mais estáveis e eficientes.

1. INTRODUÇÃO

As enzimas desempenham um papel vital na indústria alimentícia, atuando como catalisadores naturais para melhorar os processos de produção e aumentar a qualidade dos alimentos, tornando os processos mais eficientes. O mercado global de enzimas alimentares foi avaliado em US$ 2,12865 bilhões em 2025. Projeta-se que cresça de US$ 2,2414 bilhões em 2026 para US$ 3,58166 bilhões em 2034, representando uma taxa de crescimento anual composta (CAGR) de 6,03% durante o período de previsão, segundo a Fortune Business Insights (2026). O relatório indica que a demanda por aditivos de origem biológica em alimentos e bebidas processados e o

Vol. 3, n. 2, Artigo 163
23 de novembro de 2026
ISSN 2965-8691

avanço da biotecnologia promoveram o desenvolvimento do mercado de enzimas alimentares (Mao *et al.*, 2024).

A enzimologia começou no século XIX com a compreensão gradual dos mecanismos da digestão e da fermentação. O uso de enzimas naturais para processamento e preservação de alimentos remonta a tempos antigos, incluindo a fabricação de pão no Egito e práticas de fermentação no Oriente. Com o tempo, as aplicações de enzimas passaram de práticas tradicionais para pesquisas científicas sistemáticas, revelando suas propriedades químicas e estabelecendo a base teórica da engenharia de enzimas. Esta engenharia prosperou no final do século XX com os avanços na biologia molecular e na engenharia genética. No entanto, a produção em larga escala enfrenta desafios, pois sistemas de solventes agressivos e estresse mecânico frequentemente reduzem a estabilidade térmica e a atividade catalítica das enzimas, limitando suas aplicações industriais. Além disso, à medida que os pesquisadores aprofundam seu entendimento sobre a estrutura e função das enzimas, eles reconhecem cada vez mais a importância da otimização do desempenho enzimático para melhorar a eficiência catalítica e atender às demandas específicas da indústria (Mao *et al.*, 2024).

Diante desse contexto, o presente artigo tem como objetivo abordar os avanços e desafios da engenharia de enzimas aplicadas à indústria alimentícia, com foco nas estratégias de otimização do desempenho enzimático, na melhoria da estabilidade e na ampliação de suas aplicações nos processos de produção de alimentos.

2. DESENVOLVIMENTO E DISCUSSÃO

A crescente conscientização sobre saúde e as mudanças no estilo de vida ampliaram a demanda por alimentos seguros, equilibrados e capazes de proporcionar benefícios fisiológicos. Nesse contexto, a tecnologia enzimática destaca-se como uma abordagem biocatalítica com potencial para otimizar processos industriais, uma vez que muitas enzimas atuam sob condições moderadas de temperatura e pressão. Essas características podem favorecer a eficiência dos processos e contribuir para a redução do consumo energético e da utilização de determinados reagentes, embora tais benefícios dependam das condições de aplicação e de sua comparação com os processos convencionais. Dessa forma, a utilização de enzimas pode estar alinhada a princípios de produção mais sustentável e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas, especialmente aqueles relacionados ao consumo e à produção responsáveis e à ação climática. Para aprimorar o desempenho dos biocatalisadores, técnicas de engenharia enzimática, como evolução dirigida e imobilização, permitem modificar propriedades como atividade catalítica, estabilidade e possibilidade de reutilização. Entretanto, os benefícios dessas estratégias dependem das características da enzima, das condições de processamento e da viabilidade de aplicação em escala

Vol. 3, n. 2, Artigo 163
23 de novembro de 2026
ISSN 2965-8691

industrial. A descoberta de novas enzimas também representa uma alternativa para ampliar suas aplicações, destacando-se os oceanos como fontes promissoras de biocatalisadores e as enzimas biomiméticas como possibilidades para superar determinadas limitações das enzimas naturais (Mao *et al.*, 2024).

Além dessas estratégias, as extremozimas, provenientes de organismos adaptados a ambientes extremos, apresentam propriedades que podem favorecer sua utilização em condições específicas de processamento industrial. Entretanto, sua resistência a condições adversas não garante, isoladamente, maior eficiência operacional ou redução de custos, sendo necessário avaliar o desempenho catalítico, a estabilidade e a viabilidade de utilização em cada processo. Nesse contexto, Miao *et al.* (2023) demonstraram que a mutagênese direcionada da protease de serina PB92, de *Bacillus alcalophilus*, permitiu aumentar em até 31,61 vezes a meia-vida enzimática ($t½$) da variante G98E a 65 °C, em comparação à enzima selvagem. O resultado evidencia o aprimoramento da termoestabilidade nas condições experimentais avaliadas e indica potencial para aplicações que requerem maior resistência térmica. Contudo, os autores também observaram que determinadas variantes apresentaram redução da atividade enzimática, evidenciando que a melhoria da estabilidade deve ser acompanhada da manutenção da atividade catalítica para favorecer a aplicação industrial.

Na panificação, as xilanases apresentam potencial para modificar as propriedades da massa e melhorar características tecnológicas dos pães. Zhang *et al.* (2023) avaliaram uma variante de xilanase, AusM^{PKK} desenvolvida para apresentar maior resistência ao inibidor natural SyXIP-I presente na farinha de trigo. Nos ensaios de panificação, a utilização de 1.000 U/kg da variante AusM^{PKK} promoveu aumento de 26,5% no volume específico dos pães, enquanto a enzima original AusM, utilizada na concentração de 4.000 U/kg, apresentou aumento de 19,7%. A variante também contribuiu para a redução da dureza durante o armazenamento. Esses resultados demonstram melhorias nas características tecnológicas dos pães nas condições experimentais estudadas e indicam que a resistência aos inibidores naturais pode favorecer a eficiência da aplicação enzimática. Embora a utilização de menores concentrações enzimáticas represente uma possibilidade de otimização do processo, os resultados não comprovam, por si só, a redução dos custos totais de produção ou a substituição de emulsificantes e outros aditivos, sendo necessárias avaliações específicas para essas finalidades.

Outra aplicação está na recuperação da funcionalidade da clara de ovo, cuja capacidade de formação de espuma pode ser prejudicada pela contaminação com gema. A lipase Lip-IM, obtida de *Bacillus subtilis* e expressa em *Escherichia coli*, demonstrou capacidade de hidrolisar lipídios

Vol. 3, n. 2, Artigo 163
23 de novembro de 2026
ISSN 2965-8691

residuais da gema, sobretudo ácidos graxos C16 e C18. Em clara contendo 0,5% de gema, a enzima aumentou em 26% a formação de espuma e reduziu a precipitação do líquido. Esses resultados demonstram a melhoria de propriedades funcionais da clara nas condições estudadas, indicando potencial para aplicações em produtos alimentícios que dependem da formação e estabilidade de espuma. Entretanto, a utilização industrial requer avaliação da eficiência enzimática em diferentes condições de processamento, da manutenção das propriedades funcionais e da viabilidade econômica da aplicação (Zhao; Liu, 2024).

Assim, novas enzimas e o aprimoramento de suas propriedades permitem adaptar biocatalisadores às características dos alimentos e às condições de processamento, contribuindo potencialmente para a melhoria da eficiência e da qualidade dos produtos (Figura 1). Embora os estudos apresentados demonstrem avanços na estabilidade, resistência a inibidores e funcionalidade enzimática, os benefícios relacionados à sustentabilidade, redução de custos, consumo energético e substituição de aditivos devem ser avaliados considerando-se as condições específicas de aplicação. A transferência desses resultados para a indústria depende da validação em condições reais de processamento, da compatibilidade com as matrizes alimentares, da manutenção do desempenho em escala ampliada e da viabilidade econômica. Dessa forma, a seleção enzimática deve considerar o alimento, as condições de processamento, os resultados tecnológicos demonstrados e as limitações de aplicação, de modo a favorecer o desempenho adequado e a consistência dos processos industriais.

Figura 1 - Aplicações tecnológicas das enzimas na área de alimentos.



Fonte: Imagens geradas por IA (Chat GPT 5.5) com base *prompt* autoral baseado no texto acima.

Vol. 3, n. 2, Artigo 163
23 de novembro de 2026
ISSN 2965-8691

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As enzimas são importantes para a indústria alimentícia, contribuindo para a eficiência dos processos produtivos, a qualidade dos alimentos e a sustentabilidade. Os avanços da engenharia enzimática, associados à descoberta de novas fontes enzimáticas, à evolução dirigida, à imobilização e ao desenvolvimento de enzimas biomiméticas, ampliam as possibilidades de aplicação desses biocatalisadores. Proteases, xilanases e lipases, demonstram o potencial dessas tecnologias para melhorar características dos alimentos, otimizar processos e reduzir a necessidade de determinados aditivos. Entretanto, sua aplicação industrial depende do desenvolvimento de enzimas capazes de manter o desempenho nas condições específicas de processamento. Assim, o aperfeiçoamento enzimático constitui uma estratégia promissora para promover processos alimentícios mais eficientes e sustentáveis, atendendo às demandas da indústria moderna.

REFERÊNCIAS

MAO, S.; JIANG, J.; XIONG, K.; CHEN, Y.; YAO, Y.; LIU, L.; LIU, H.; LI, X. Enzyme Engineering: Performance Optimization, Novel Sources, and Applications in the Food Industry. **Foods**, v. 13, art. 3846, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/foods13233846.

MIAO, H.; XIANG, X.; HAN, N.; WU, Q.; HUANG, Z. Improving the thermostability of serine protease PB92 from *Bacillus alcalophilus* via site-directed mutagenesis based on semi-rational design. **Foods,** v. 12, n. 16, art. 3081, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/foods12163081.

ZHANG, D.; HUANG, J.; LIU, Y.; CHEN, X.; GAO, T.; LI, N.; HUANG, W.; WU, M. Directed modification of a GHF11 thermostable xylanase AusM for enhancing inhibitory resistance towards SyXIP-I and application of AusM^{PKK} in bread making. **Foods**, v. 12, n. 19, art. 3574, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/foods12193574.

ZHAO, J.; LIU, F. Enzymes in Food Industry: Fermentation Process, Properties, Rational Design, and Applications. **Foods**, v. 13, art. 3196, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/foods13193196.

FORTUNE BUSINESS INSIGHTS. **Food enzymes market size, share & industry analysis**. [S. l.]: Fortune Business Insights, 2026. Disponível em: https://www.fortunebusinessinsights.com/food-enzymes-market-102835. Acesso em: 18 nov. 2026.