



Aplicação tecnológica de xilanase em produtos de panificação – uma revisão sistemática. Technological application of the xylanase enzyme in bakery products – systematic review.

Marilia de Aguiar Cardozo¹, [Hilton Lopes Galvão](#)², [Katia Yuri Fausta Kawase](#)³, [Solciaray Cardoso Soares Estefan de Paula](#)⁴

¹ Discente do Curso de Pós-Graduação *Lato sensu* em Inovação e Tecnologia para Alimentos e Bebidas – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS, *campus* Caxias do Sul/RS – Brasil. E-mail: marilia.cardozo@yahoo.com.br

² Docente do Curso de Pós-Graduação *Lato sensu* em Inovação e Tecnologia para Alimentos e Bebidas – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS, *campus* de Caxias do Sul/RS – Brasil. E-mail: hiltonlgalvao@gmail.com

³ Docente do Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos – Instituto Federal Fluminense – IFF, *campus* Bom Jesus do Itabapoana/RJ – Brasil.

⁴ Docente do Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos – Instituto Federal Fluminense – IFF, *campus* Bom Jesus do Itabapoana/RJ – Brasil.

Resumo

O uso de enzimas na panificação está se tornando cada vez mais relevante devido às limitações impostas ao uso de aditivos alimentares sintéticos. A busca por microrganismos capazes de produzir xilanases é constante na biotecnologia, visando enzimas mais adaptadas aos processos industriais. A xilanase é particularmente versátil na formulação de produtos de panificação, quebrando polissacarídeos não amiláceos presentes nos grãos. Este trabalho destaca a influência da xilanase nos arabinoxilanos, componentes cruciais na estrutura dos grãos, e seus efeitos nas características finais dos pães. A revisão sistemática, realizada seguindo a metodologia do PRISMA, resultou na seleção de 12 artigos relevantes, abordando a aplicação da xilanase em produtos de panificação, mais especificamente pães. Os resultados destacam que a adição de xilanase contribui para a maciez, aumento de volume e vida útil prolongada dos pães. A textura mais agradável, o aumento do volume específico e a retenção de umidade são características valorizadas pelos consumidores. Em conclusão, a xilanase oferece uma abordagem sustentável e eficaz para melhorar a qualidade dos produtos de panificação, atendendo às expectativas dos consumidores.

Palavras-chave: Arabinoxilanos. Melhorador de farinha. Enzimas.

Abstract

The use of enzymes in baking is becoming increasingly relevant due to limitations imposed on the use of synthetic food additives. The search for microorganisms capable of producing xylanases is constant in biotechnology, aiming for enzymes better adapted to industrial processes. Xylanase is particularly versatile in the formulation of bakery products, breaking down non-starch polysaccharides present in grains. This work highlights the influence of xylanase on arabinoxylans, crucial components in grain structure, and its effects on the final characteristics of bread. The systematic review, conducted following the PRISMA methodology, resulted in the selection of 12 relevant articles addressing the application of xylanase in bakery products, specifically bread. The results emphasize that the addition of xylanase contributes to the softness, increased volume, and prolonged shelf life of bread. Pleasant texture, increased specific volume, and moisture retention are characteristics valued by consumers. In conclusion, xylanase offers a sustainable and effective approach to improving the quality of bakery products, meeting consumer expectations.

Keywords: Arabinoxylans. Flour improver. Enzymes.



Introdução

A indústria de alimentos está em constante busca por alternativas naturais e eficientes para melhorar a qualidade dos produtos, como no caso da panificação. Nesse contexto, as enzimas desempenham um papel crucial, oferecendo uma abordagem sustentável e eficaz para aprimorar as características dos produtos de panificação (EZEILO et al., 2019). É importante ressaltar que o uso de enzimas como catalisadores biológicos em processos industriais oferece diversas vantagens em relação aos catalisadores sintéticos. Essas vantagens incluem a formação de produtos mais puros, a biodegradabilidade, a reutilização das enzimas, a síntese em larga escala e processos mais rápidos, além da exigência de condições operacionais menos severas (SILVA, 2016).

Diversas preparações enzimáticas, como a α -amilase, protease e a xilanase, têm sido empregadas com êxito na indústria de panificação. As xilanases são particularmente versáteis na formulação de uma variedade de produtos, com destaque especial para o setor de panificação, onde são capazes de quebrar os polissacarídeos não amiláceos presentes na estrutura dos grãos. Os arabinoxilanos representam o principal componente desses polissacarídeos não amiláceos encontrados nos grãos (QESHMI et al., 2020).

Segundo Goswami e Pathak (2014) os microrganismos são amplamente reconhecidos como a principal fonte de enzimas devido à sua alta taxa de reprodução e à capacidade de produzir compostos bioativos e uma variedade de enzimas de grande importância na indústria de alimentos. Xilanases são enzimas de hidrólise que clivam ligações β -1,4 das xilanas. Até o momento, foram identificadas e caracterizadas várias xilanases provenientes de diferentes bactérias e fungos (QESHMI et al., 2020).

A xilanase encontrada em *Aspergillus niger* tem a capacidade de decompor o arabinoxilano extraível em água, resultando na redução do peso molecular e da viscosidade da massa (ROMANOWSKA et al., 2003). De maneira similar, a xilanase derivada de *Bacillus subtilis* solubiliza especificamente os arabinoxilanos não extraíveis em água, ao mesmo tempo, em que aumenta a viscosidade da massa, embora tenha um efeito desfavorável na formação do glúten. Em muitos casos, combinações de xilanase com outras enzimas são adicionadas para aprimorar as características de manuseio da massa (COURTIN; DELCOUR, 2002).

O impacto dos arabinoxilanos extraíveis em água geralmente é positivo nas características da massa e na qualidade do pão, ao contrário do que é observado para os arabinoxilanos insolúveis em água (WANG et al., 2003). Os efeitos das xilanases nos arabinoxilanos variam conforme o tipo e a origem da enzima, com considerável influência sobre a preferência por arabinoxilanos solúveis ou insolúveis, um aspecto que muitas vezes foi subestimado no passado (DRISS et al., 2013). Adicionalmente, a atuação da xilanase provoca a liberação dos xilo-oligossacarídeos da farinha, os quais desempenham um papel prebiótico ao estimular o crescimento de bactérias do gênero *Bifidobacterium* spp. e *Lactobacillus* spp., contribuindo para a promoção da saúde intestinal (CHAPLA et al., 2012).

O arabinoxilano representa cerca de 2% a 3% da composição da farinha de trigo e desempenha um papel fundamental na massa da farinha e na qualidade do pão devido à sua notável capacidade de absorção de água, sendo capaz de absorver quase dez vezes o seu próprio peso em água (TEBBEN et al., 2020). As xilanases têm a capacidade de quebrar o arabinoxilano insolúvel em água e formar xilano solúvel em água, além de redistribuir a água na massa e promover a formação da rede de glúten, resultando em melhorias na qualidade do pão, incluindo aumento do volume, maciez e aumento da vida útil (ALOKIKA, SINGH, 2019; GOESAERT et al., 2005; BUTT et al., 2008).

De acordo com Dahiya et al. (2020) o processo de fabricação de pão pode ser dividido em três estágios: mistura, fermentação e cozimento. Durante a etapa de mistura e a subsequente fermentação, quando a atividade da xilanase é necessária, a temperatura é mantida entre 30 °C e 40 °C (COLLINS et al., 2005). No entanto, quando chegamos à fase de cozimento, com temperaturas entre 150 °C e 210 °C, a enzima é desativada devido ao calor extremo (VERJANS et al., 2010).

Os melhoradores de massa, também conhecidos como melhoradores de farinha, são amplamente utilizados na produção de pães para melhorar não apenas as características da massa, como manuseio, formação e retenção de gases, mas também ajuda a equilibrar a variabilidade da farinha e as propriedades do pão final, incluindo textura, estrutura do miolo, volume, cor e facilidade de corte. No entanto, os melhoradores à base de enzimas são preferidos em relação aos sintéticos, já que as enzimas oferecem muitos dos mesmos benefícios, além de serem consideradas ingredientes naturais, o que atende à demanda por rótulos "clean label". Quando as enzimas são usadas como melhoradores de massa, elas não permanecem ativas no produto final, pois são desnaturadas durante o cozimento, e, portanto, não precisam ser listadas nos rótulos dos produtos (GOESAERT et al., 2005; GOESAERT et al., 2009).

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão sistemática sobre a xilanase e como sua aplicação tecnológica tem contribuído para a indústria de panificação.

Material e métodos

Esta revisão foi conduzida seguindo uma estratégia de busca de acordo com o PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis) em três bases de dados bibliográficas. As bases de dados selecionadas foram: Science Direct, Scielo e Web of Science. A pesquisa incluiu todos os tipos de artigos, capítulos de livros publicados em revistas científicas sem limitações quanto ao idioma, entre os anos de 2018 e 2023, sendo que na base de dados Science Direct foi utilizado filtros para direcionamento dos artigos como “Engenharia Química” e “Ciências Biológicas e Agrárias” e nos demais foram livres.

A seleção dos artigos foi feita em duas etapas. Na primeira etapa, após a retirada das referências duplicadas, os títulos e resumos dos artigos restantes foram analisados. Esta primeira etapa elegeu os artigos que poderiam atender aos critérios de inclusão de acordo com o título e resumo. Para esta revisão, foram selecionados artigos que apresentaram o uso da enzima xilanase obtida de diferentes formas em produtos de panificação, mais especificamente pães. Foram excluídos aqueles artigos que apresentavam o uso da enzima xilanase em farinhas e farelos. Artigos que não possuíam nenhum dos critérios de inclusão conforme citado acima ou não estavam relacionados com o tema desta revisão foram excluídos.

Resultados e discussão

Ao todo, 573 trabalhos foram encontrados após a aplicação da estratégia de busca inicialmente estabelecida nas três bases de dados eletrônicas, onde as palavras-chave utilizadas foram “Xylanase”, “Enzymes” e “Baking”. Na base de dados Science Direct foram encontradas 545 referências e 48 referências no Web of Science. Nenhuma referência foi encontrada na base de dados Scielo. Feito o processo de busca completo nas bases de dados citadas, as referências duplicadas foram removidas, restando 569 referências. Em seguida, foi feita a análise dos títulos e resumos dos artigos, descartando 550 referências, restando 19 trabalhos. Assim, com base nos critérios de inclusão e exclusão, citados

anteriormente, foi realizada uma avaliação dos textos completos e foram selecionados 12 artigos para esta revisão. Um fluxograma detalhado sobre o processo de pesquisa, inclusão e exclusão dos artigos é apresentado na Figura 1.

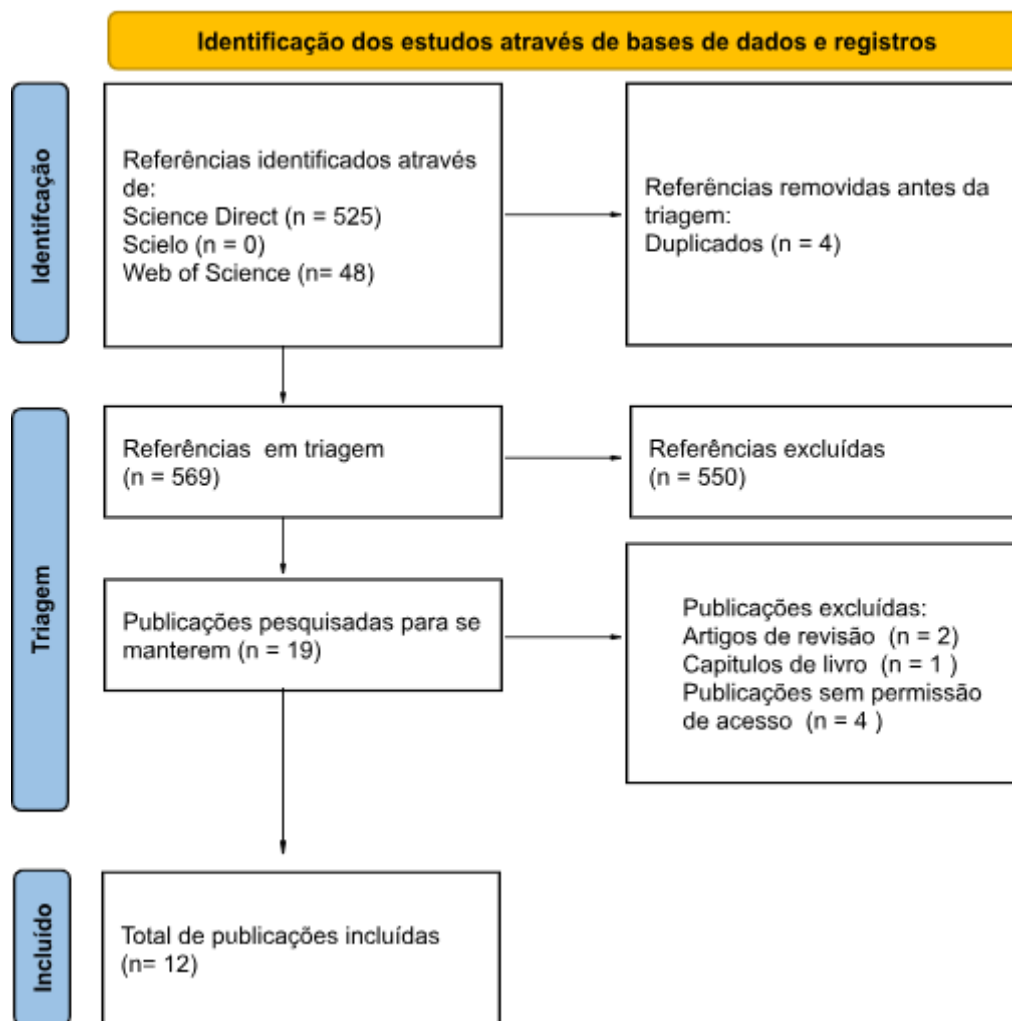


Figura 1 – Fluxograma de critérios de pesquisa, inclusão e exclusão dos artigos.

Os consumidores de pães têm expectativas bem definidas quando se trata de qualidade e sabor. Algumas das características essenciais amplamente desejadas, incluem a maciez, o volume específico e uma vida útil prolongada (EZEILO et al., 2019). Cada uma dessas características contribui para a qualidade geral do produto, afetando a experiência de sabor e a textura do pão (BALESTRA et al., 2015).

Segundo Silva (2016) a maciez é uma característica primordial que os consumidores buscam em pães. Pães macios são mais agradáveis ao paladar e mais fáceis de mastigar. Essa maciez é frequentemente associada à quantidade adequada de água na massa e a um processo de amassar e fermentar bem executado. Os consumidores apreciam a sensação de morder um pão macio, que desmancha na boca e oferece uma experiência de sabor mais agradável.

O volume específico é a medida da expansão da massa de pão durante o processo de fermentação e cozimento. Pães com bom volume específico têm uma aparência melhor e uma textura mais arejada e leve. Isso indica que a fermentação foi eficaz e o pão possui uma estrutura interna desejável. Um pão que tenha crescido bem durante a fermentação e tenha retido o máximo de gás durante o cozimento é geralmente preferido pelos consumidores (GOESAERT et al., 2005).

A vida útil prolongada de um pão é um fator importante para os consumidores, pois eles desejam que seus pães se mantenham frescos, macios e saborosos por mais tempo. Isso não reduz apenas o desperdício de alimentos, mas também permite que as pessoas desfrutem de seu pão ao longo de vários dias. A adição de ingredientes, conservadores, enzimas ou técnicas de embalagem adequadas pode estender a vida útil do pão, mantendo-o em condições ideais por mais tempo (CHADHA, 2019).

Maciez (textura)

A maciez do pão é um atributo sensorial muito requerido, desempenhando um papel significativo na experiência gastronômica dos consumidores. Trata-se de uma qualidade que pode ser percebida imediatamente ao tocar, apertar ou morder um pedaço de pão fresco e bem-preparado. A maciez é uma das características mais desejadas em pães de todos os tipos. A maciez do pão é uma combinação de fatores, sendo a composição da massa e a técnica de preparação dois dos elementos mais críticos. Pães macios geralmente têm uma alta proporção de água em sua massa, o que resulta em uma textura mais úmida e maleável. Além disso, a incorporação de gorduras, como manteiga ou óleo, pode contribuir para uma textura mais macia (SILVA, 2016).

A forma como a massa é amassada, fermentada e cozida também influencia significativamente a maciez final do pão. A enzima xilanase contribui para a maciez dos pães devido à sua capacidade de quebrar o arabinoxilano, um componente da parede celular de grãos, como trigo, cevada e centeio. O arabinoxilano é uma substância que endurece a estrutura da massa de pão, tornando-a menos macia. Quando a enzima xilanase é adicionada à massa, ela desencadeia a hidrólise (quebra química com a adição de água) do arabinoxilano insolúvel em água e forma arabinoxilano solúvel em água (QESHMI et al., 2020). De acordo com os resultados do perfil de textura dos pães, os autores Li et al. (2022), Yegin et al. (2018), Sheikholeslami et al. (2021), Zhang et al. (2022), Mohammadi et al. (2022), Both et al. (2021) e Sarabhai et al. (2021) encontraram menor dureza com a adição de xilanase em suas amostras.

Aumento de volume

Um dos critérios mais importantes na avaliação da qualidade do pão é o volume específico. É bem conhecido que a incorporação de xilanases em níveis ótimos na formulação de pães proporciona aumento no volume específico dos pães. Isto se deve ao fato das xilanases terem a capacidade de reduzir a capacidade de ligação de água dos pentosanos, aumentando assim a disponibilidade de água para o desenvolvimento da rede de glúten (FILIPCEV et al., 2014).

Os autores Li et al. (2022), Yegin et al. (2018), Tebben et al. (2020), Liu et al. (2022), Zhang et al. (2022), Park et al. (2019), Both et al. (2021), Sarabhai et al. (2021) e Mohammadi et al. (2022) encontraram um aumento de volume específico dos pães com adição da xilanase. Wang et al. (2018) testaram a ação da xilanase em pães que tiveram sua massa congelada por 4 semanas e obtiveram resultado de 33% de aumento de volume.

Vida útil

A adição da xilanase aumenta a retenção de umidade na massa do pão. Isso ajuda a manter o pão úmido por mais tempo, o que é benéfico para a vida útil em quesitos sensoriais e comerciais, pois um pão mais úmido tende a ficar fresco por mais tempo, evitando o ressecamento e endurecimento

do pão (SILVA, 2016). Os efeitos das xilanases nas propriedades de textura nas amostras de pão durante o armazenamento a 4 °C foram positivos na textura e qualidade do pão, pois houve uma redução da dureza e da mastigabilidade, bem como um aumento da elasticidade e coesão, indicando o efeito antienvelhecimento positivo. Os autores Li et al. (2022), Liu et al. (2022), Mohammadi et al. (2022) e Tebben et al. (2020) encontraram estes resultados em seus estudos. Kim e Yoo (2000) estudaram o melhoramento das propriedades texturais da massa de pão congelada com adição de xilanase e obtiveram a diminuição da dureza do miolo em 56,9% após 5 dias de armazenamento em comparação ao pão controle. O resumo sobre as principais conclusões dos 12 autores utilizados neste trabalho está apresentado no quadro 1.

Quadro 1 – Principais conclusões sobre os resultados obtidos com a adição da enzima xilanase em produtos de panificação encontrados nos artigos utilizados para revisão sistemática.

Autores	Ano	Principal conclusão relacionado ao tema pesquisado
Li et al.	2022	A adição de xilanase melhorou eficientemente o volume específico e a textura do pão, e o efeito foi melhor do que o de uma enzima mesofílica comercial, o que também confirmou o efeito antienvelhecimento das xilanases ativas a frio.
Yegin, Altinel e Tuluk	2018	A incorporação da xilanase de <i>A. pullulans</i> nas formulações de pão resultou em um volume específico de pão consideravelmente maior e menor firmeza do miolo.
Sheikholeslami et al.	2021	O comportamento reológico, a maciez, a extensibilidade, o brilho, a estrutura, a atividade antioxidante e as avaliações sensoriais do pão de trigo integral foram positivamente correlacionados com a suplementação da enzima xilanase.
Zhang et al.	2022	A aplicação da xilanase degradou significativamente o arabinoxilano não solúvel em água e, assim, melhorou o volume específico, a capacidade de retenção de ar e a taxa de expansão da massa. Os testes mostraram que a enzima desempenhou um papel positivo no volume específico, na textura e na estrutura do miolo.
Mohammadi, Zoghi e Azizi	2022	Todos os tratamentos utilizando a enzima puderam melhorar o volume específico e a textura do miolo das amostras de pão.
Wang et al.	2018	De modo geral, a adição de enzimas melhorou em diferentes graus a qualidade sensorial da massa de pão fresco e congelado. A massa de pão congelada por 4 semanas contendo xilanase apresentou maior aumento de volume de 33%.
Both et al.	2021	O pão produzido com farinha de trigo integral micronizado com xilanase apresentou baixa firmeza e mastigabilidade quando foram utilizados tamanhos de partículas de 158 e 261 μm e teores de xilanase de 100 e 60 mg kg ⁻¹ . Embora o aumento no teor de xilanase provoque alterações indesejáveis na qualidade da massa, a qualidade do pão foi mantida.

Sarabhai, Tamilselvan e Prabhasankar	2021	O presente estudo revelou o potencial uso de enzimas para a preparação de pão de milho sem glúten. Pães tratados com enzimas como a xilanase aumentaram significativamente o volume específico e a elasticidade do miolo.
Liu et al.	2022	O volume específico e a dureza do pão de trigo foram melhorados com a adição de xilanase em relação ao pão controle. A adição de 5 ppm no pão de trigo reduziu a dureza do pão de trigo em 52% e 51% no 2º e 4º dia.
Park, Fuerst e Baik	2019	O volume do pão preparado a partir de misturas farinha com farelo foi melhorado com a hidratação do farelo com xilanase. O efeito da hidratação do farelo com enzima na qualidade do pão dependeu da variedade de trigo, mostrando melhora significativa no trigo vermelho duro, mas não no trigo branco duro.
Tebben et al.	2020	O volume do pão teve sua maior melhora (13%), obtida com a dose mais alta de xilanase. Esta enzima também mostrou uma tendência de diminuir a dureza e retardar a taxa de firmeza do miolo do pão de farinha integral.
Kim e Yoo	2020	avaliaram o melhoramento das propriedades texturais da massa de pão congelada com adição de xilanase e obtiveram a diminuição da dureza do miolo em 56,9% após 5 dias de armazenamento em comparação ao pão controle

Conclusão

A maciez do pão é um atributo sensorial amplamente valorizado pelos consumidores, e a xilanase se mostrou eficaz na criação de pães mais macios e agradáveis ao paladar. Além disso, a xilanase também desempenhou um papel crucial no aumento do volume específico dos pães. A capacidade da xilanase de quebrar os polissacarídeos presentes na estrutura dos grãos permitiu uma melhor formação da rede de glúten, resultando em pães com uma textura mais leve e aerada.

Além da maciez e do volume específico, a xilanase também teve um papel fundamental na vida útil dos produtos de panificação. A enzima ajudou a manter o pão mais úmido por mais tempo, evitando o ressecamento e endurecimento do produto durante o armazenamento, pela capacidade da xilanase em aumentar a retenção de umidade na massa do pão, resultando em pães mais frescos e saborosos por um período prolongado.

Assim, a xilanase não apenas atende às expectativas dos consumidores em termos de maciez, volume e vida útil do pão, mas também oferece uma alternativa sustentável e natural para melhorar a qualidade dos produtos de panificação, contribuindo significativamente para a indústria alimentícia.

Conflitos de interesse

Não houve conflito de interesses dos autores.

Contribuição dos autores

Marília de Aguiar Cardozo – ideia original, coleta de dados, interpretação dos resultados e escrita; Hilton Lopes Galvão – orientação, correções e revisão do artigo; Katia Yuri Fausta Kawase – orientação e revisão do artigo; Solciaray Cardoso Soares Estefan de Paula – auxílio na escrita e revisão do texto.

Agradecimentos

Ao Curso de Pós-Graduação *Lato sensu* em Inovação e Tecnologia para Alimentos e Bebidas da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS – *Campus* Caxias do Sul e ao Instituto Federal Fluminense – IFF – *Campus* Bom Jesus do Itabapoana.

Referências bibliográficas

- ALOKIKA, SINGH, B. Production, characteristics, and biotechnological applications of microbial xylanases. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 103, n. 21, p. 8763-8784, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-10108-6>
- BALESTRA, F.; PINNAVAIA, G. G.; ROMANI, S. Evaluation of the effects of different fermentation methods on dough characteristics. **Journal of Texture Studies**, v. 46, n. 4, p. 262-271, 2015. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12124>
- BOTH, J.; BIDUSKI, B.; GOMEZ, M.; BERTOLIN, T. E.; FRIEDRICH, M. T.; GUTKOSKI, L. C. Micronized whole wheat flour and xylanase application: dough properties and bread quality. **Journal of Food Science and Technology**, v. 58, n. 10, p. 3902-3912, 2021. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04851-2>
- BUTT, M. S.; TAHIR-NADEEM, M.; AHMAD, Z.; SULTAN, M. T. Xylanases and their applications in baking industry. **Food Technology and Biotechnology**, v. 46, n. 1, p. 22-31, 2008. https://www.researchgate.net/publication/228617848_Xylanases_and_Their_Applications_in_Baking_Industry
- CHADHA, B. S.; KAUR, B.; BASOTRA, N.; TSANG, A.; PANDEY, A. Thermostable xylanases from thermophilic fungi and bacteria: current perspective. **Bioresource Technology**, v. 277, p. 195-203, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.01.044>
- CHAPLA, D.; PANDIT, P.; SHAH, A. Production of xylooligosaccharides from corn cob xylan by fungal xylanase and their utilization by probiotics. **Bioresource Technology**, v. 115, p. 215-221, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.10.083>
- COLLINS, T.; GERDAY, C.; FELLER, G. Xylanases, xylanase families and extremophilic xylanases. **FEMS Microbiology Reviews**, v. 29, n. 1, p. 3-23, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.femsre.2004.06.005>
- COURTIN, C. M.; DELCOUR, J. A. Arabinoxylans and endoxylanases in wheat flour bread-making. **Journal of Cereal Science**, v. 35, n. 3, p. 225-243, 2002. <https://doi.org/10.1006/jcrs.2001.0433>
- DAHIYA, S.; BAJAJ, B. K.; KUMAR, A.; TIWARI, S. K.; SINGH, B. A review on biotechnological potential of multifarious enzymes in bread making. **Process Biochemistry**, v. 99, p. 290-306, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2020.09.002>
- DRISS, D.; BHIRI, F.; SIELA, M.; BESSESS, S.; CHAABOUNI, S.; GHORBEL, R. Retracted: Improvement of breadmaking quality by Xylanase GH11 from *Penicillium occitanis* Pol6. **Journey of Texture Studies**, v. 44, n 1, p. 75-84, 2013. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2012.00367.x>

- EZEILO, U. R.; LEE, C. T.; HUYOP, F.; ZAKARIA, I. I.; WAHAB, R. A. Raw oil palm frond leaves as cost-effective substrate for cellulase and xylanase productions by *Trichoderma asperellum* UC1 under solid-state fermentation. **Journal of Environmental Management**, v. 243, p. 206-217, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.113>
- FILIPCEV, B.; SIMURINA, O.; BODROZA-SOLAROV, M. Combined effect of xylanase, ascorbic and citric acid in regulating the quality of bread made from organically grown spelt cultivars. **Journal of Food Quality**, v. 37, n. 3, p. 185-195. 2014. <https://doi.org/10.1111/jfq.12081>
- GOESAERT, H.; BRIJS, K.; VERAVERBEKE, W. S.; COURTIN, C. M.; GEBRURERS, K.; DELCOUR, J. A. Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. **Trends in Food Science & Technology**, v. 16, n. 1-3, p. 12-30, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2004.02.011>
- GOESAERT, H.; SLADE, L.; LEVINE, H.; DELCOUR, J. A. Amylases and bread firming - an integrated view. **Journal of Cereal Science**, v. 50, p. 345-352, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2009.04.010>
- GOSWAMI, G. K.; PATHAK, R. R. Microbial xylanases and their biomedical applications: a review. **International Journal of Basic & Clinical Pharmacology**, v. 2, n. 3, p. 237-246, 2013. <https://doi.org/10.5455/2319-2003.ijbcp20130602>
- KIM, H.-J.; YOO, S.-H. Effects of combined alpha-amylase and endo-xylanase treatments on the properties of fresh and frozen doughs and final breads. **Polymers**, v. 12, n. 6, p. 1-10, 2020. <https://doi.org/10.3390/polym12061349>
- LI, X.; ZHANG, L.; JIANG, Z.; LIU, L.; WANG, J.; ZHONG, L.; YANG, T.; ZHOU, Q.; DONG, W.; ZHOU, J.; YE, X.; LI, Z.; HUANG, Y.; CUI, Z. A novel cold-active GH8 xylanase from *Cellulolytic myxobacterium* and its application in food industry. **Food Chemistry**, v. 393, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133463>
- LIU, X.; YAN, Q.; XUE, Y.; WANG, S.; YANG, H.; JIANG, Z. Biochemical characterization of a novel glycoside hydrolase family 11 xylanase from *Chaetomium* sp. suitable for bread making. **Process Biochemistry**, v. 117, p. 1-9, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2022.03.017>
- MOHAMMADI, M.; ZOGHI, A.; AZIZI, M. H. Effect of xylanase and pentosanase enzymes on dough rheological properties and quality of baguette bread. **Journal of Food Quality**, v. 22, n. 1, p. 1-9, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/2910821>
- PARK, E. Y.; FUERST, E. P.; BAIK, B. K. Effect of bran hydration with enzymes on functional properties of flour-bran blends. **Cereal Chemistry**, v. 96, n. 2, p. 273-282, 2019. <https://doi.org/10.1002/ccche.10119>
- QESHMI, F. I.; HOMAEI, A.; FERNANDES, P.; HEMMATI, R.; DIJKSTRA, B. W.; KHAJEH, K. Xylanases from marine microorganisms: a brief overview on scope, sources, features and potential applications. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Proteins and Proteomics**, v. 1868, n. 2, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2019.140312>
- ROMANOWSKA, I.; POLAK, J.; JANOWSKA, K.; BIELECKI, S. The application of fungal endoxylanase in bread-making. **Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences**, v. 68, n. 2, p. 317-320, 2003. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15296186/>
- SARABHAI, S.; TAMILSELVAN, T.; PRABHASANKAR, P. Role of enzymes for improvement in gluten-free foxtail millet bread: it's effect on quality, textural, rheological and pasting properties. **LWT-Food Science and Technology**, v. 137, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110365>

SHEIKHOESLAMI, Z.; MAHFOUZI, M.; KARIMI, M.; GHIAFEHDAAVOODI, M. Modification of dough characteristics and baking quality based on whole wheat flour by enzymes and emulsifiers supplementation. **LWT-Food Science and Technology**, v. 139, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110794>

SILVA, P. O. **Purificação e caracterização bioquímica da xilanase produzida por *Aspergillus japonicus* e imobilização enzimática em alginato**. 67p. Dissertação (Mestrado em Bioquímica e Biologia Molecular) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2016. https://ppgpmbqbm.ufms.br/files/2017/08/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Mestrado_PatriciaOliveira-C%C3%B3pia.pdf

TEBBEN, L.; CHEN, G.; TILLEY, M.; LI, Y. Individual effects of enzymes and vital wheat gluten on whole wheat dough and bread properties. **Journal of Food Science**, v. 85, n. 12, p. 4201-4208, 2020. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15517>

VERJANS, P.; DORNEZ, E.; DELCOUR, J. A.; COURTIN, C. M. Selectivity for water-unextractable arabinoxylan and inhibition sensitivity govern the strong bread improving potential of an acidophilic GH11 *Aureobasidium pullulans* xylanase. **Food Chemistry**, v. 123, n. 2, p. 331-337, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.04.039>

WANG, M.; HAMER, R. J.; VAN VLIET, T.; GRUPPEN, H.; MARSEILLE, H.; WEEGELS, P. L. Effect of water unextractable solids on gluten formation and properties: mechanistic considerations. **Journal of Cereal Science**, v. 37, n. 1, p. 55-64, 2003. <https://doi.org/10.1006/jcrs.2002.0478>

WANG, X.; PEI, D.; TENG, Y.; LIANG, J. Effects of enzymes to improve sensory quality of frozen dough bread and analysis on its mechanism. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 1, p. 389-398, 2018. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2950-8>

YEGIN, S.; ALTINEL, B.; TULUK, K. A novel extremophilic xylanase produced on wheat bran from *Aureobasidium pullulans* NRRL Y-2311-1: Effects on dough rheology and bread quality. **Food Hydrocolloids**, v. 81, p. 389-397, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.03.012>

ZHANG, Y.; LIU, C.; YANG, M.; OU, Z.; LIN, Y.; ZHAO, F.; HAN, S. Characterization and application of a novel xylanase from *Halolactibacillus miurensis* in wholewheat bread making. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 10, p. 1-12, 2022. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.1018476>

Recebido em 3 de junho de 2024

Retornado para ajustes em 13 de dezembro de 2024

Recebido com ajustes em 17 de março de 2025

Aceito em 19 de março de 2025