

## REVIEW

# XILANASES FÚNGICAS: APROVEITAMENTO DO FARELO DE TRIGO EM PROCESSOS FERMENTATIVOS E PANIFICAÇÃO

**Santos LM\***

Univesidade Estadual de Maringá

ORCID

**Orlandelli RC†**

Universidade Estadual do Paraná

<https://orcid.org/0000-0002-1359-4210>

**Resumo:** O Farelo de Trigo (FT), um subproduto rico em lignocelulose, obtido na moagem dos grãos de trigo, pode ser utilizado para o desenvolvimento de produtos com alto valor agregado. Portanto, essa revisão bibliográfica da literatura aborda o aproveitamento do FT para a obtenção de xilanases fúngicas por Fermentação Submersa (FS) e em Estado Sólido (FES), e discute o papel dessas enzimas para a melhoria da qualidade na produção de pães. Para tanto, um levantamento bibliográfico foi realizado em diferentes plataformas de pesquisa. Os trabalhos analisados comprovaram a eficácia do FT como substrato para a produção de xilanases, porém as altas atividades foram dependentes das condições fermentativas. A FES, em pH relativamente ácido, demonstrou-se mais promissora para obtenção da enzima. A xilanase pode ser aplicada no setor de panificação para a hidrólise das xilanas (que impedem o desenvolvimento da formação do glúten), tornando possível obter uma massa de fácil manuseio, com melhor salto de forno e volume específico, e estrutura de miolo regular.

**Palavras-chave:** Produção enzimática. Enzimas microbianas. Processos fermentativos.

### ***Fungal xylanases: use of wheat bran in fermentative processes and baking***

**Abstract:** *Wheat bran (FT), a lignocellulose-rich byproduct obtained from the milling of wheat grains, can be used for the development of high value-added products. Therefore,*

\* Especialista em Biotecnologia e Bioprocessos pela Univesidade Estadual de Maringá; Graduado em Tecnologia de Alimentos pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná de Campo Mourão; vínculo empregatício; lincoln.malagutti@hotmail.com

† Doutora em Biologia Comparada (Biologia das Interações Orgânicas) pela Universidade Estadual de Maringá; Graduada em Ciências Biológicas pela Universidade do Oeste Paulista; Professora na Universidade Estadual do Paraná de Paranavaí; Avenida Gabriel Esperidião, s/n, Jd. Morumbi, 87703-000, Paranavaí, Paraná, Brasil; ravelycasarotti@gmail.com

*this literature review addresses the use of WB to obtain fungal xylanases by Submerged Fermentation (SF) and Solid State Fermentation (SSF), and discusses the role of these enzymes in improving the quality of bread production. For this, a bibliographic survey was performed in several databases. The studies analyzed proved the efficiency of WB as substrate for xylanase production, but the high enzymatic activities were dependent on fermentative conditions. FES, at relatively acidic pH, was more promising to obtain the enzyme. Xylanase can be applied in the bakery sector for the hydrolysis of xylans (which prevent the development of gluten formation), enabling an easy-to-handle mass with better oven-spring and specific volume, and regular crumb structure.*

**Keywords:** Enzymatic production. Microbial enzymes. Fermentative processes.

Recebido em 21 de agosto de 2019

Aceito em 23 de setembro de 2019

## 1 INTRODUÇÃO

O trigo, gramínea do gênero *Triticum*, é um dos cereais de importância mundial mais produzidos e de maior valor socioeconômico e nutricional na alimentação humana. A China é o maior País produtor de trigo, com cerca de 121,7 milhões de toneladas produzidas anualmente (Tabela 1). No Brasil, em 2017, foram produzidas aproximadamente 4,3 milhões de toneladas de trigo.<sup>1</sup>

Tabela 1 – Produção agrícola mundial de trigo (média para o período 2007-2017), considerando os 10 principais países produtores

País	Classificação	Produção
China	1º	≈121,7 Mt
Índia	2º	≈86,7 Mt
Rússia	3º	≈58,5 Mt
Estados Unidos da América	4º	≈58,1 Mt
França	5º	≈37,2 Mt
Canadá	6º	≈28,7 Mt
Alemanha	7º	≈24,5 Mt
Paquistão	8º	≈24,3 Mt
Austrália	9º	≈22,8 Mt
Ucrânia	10º	≈21,9 Mt

Nota: Mt = Milhões de toneladas.

Fonte: Food and Agriculture Organization of the United Nations.<sup>1</sup>

Existem cerca de 30 tipos de trigo geneticamente diferentes, dos quais metade é cultivada e o restante cresce de forma silvestre. O maior volume da produção mundial (90%) vem do trigo farináceo (*Triticum aestivum*), que é utilizado principalmente na elaboração de farinha para pães.<sup>2</sup> Já o trigo duro (*Triticum durum*), usado para a fabricação de massas finas, representa 5% dessa produção; os demais tipos possuem menor importância e se destinam basicamente ao consumo animal.<sup>2</sup> Os grãos de trigo geralmente são ovais, mas podem variar de formas quase esféricas a longas, estreitas e achatadas, com 5 a 9 mm de comprimento e peso de 35 a 50 mg; possuem gérmen (2-3%), farelo (13-17%) e endosperma amiláceo (80-85%) em sua composição.<sup>3</sup> Apesar de representar uma fonte de alimento completa em termos nutricionais, a proporção das várias substâncias que compõem o grão (amido, minerais, vitaminas e proteínas) oscila conforme a variedade.<sup>4</sup>

O Farelo (ou fibra) de Trigo (FT) é a película externa da parte comestível do grão, que não é digerida pelo organismo humano. Esse subproduto da moagem convencional do trigo é composto por celulose (30%), hemicelulose (25%), lignina (8%), amido (10%), açúcar (5%), proteínas (15%), lipídios (5%) e minerais.<sup>5</sup> A razão de peso de FT produzido para o peso de trigo moído é aproximadamente 25:75.<sup>6</sup> Embora seja largamente comercializado, este ainda é considerado um produto de baixo valor agregado e subutilizado, principalmente como componente em rações animais. Assim, a utilização de processos biotecnológicos é uma importante estratégia para o reaproveitamento desses resíduos. Particularmente, a bioconversão dos resíduos da agricultura e indústria de alimentos recebe crescente atenção, uma vez que estes representam recursos utilizáveis para a síntese de produtos úteis, incluindo as enzimas microbianas, como demonstrado em estudos recentes.<sup>7-9</sup>

As enzimas são moléculas capazes de acelerar os processos químicos com grandes vantagens frente aos catalisadores químicos, principalmente por serem ecologicamente mais viáveis. A indústria alimentícia utiliza as enzimas como produtos biológicos seguros que substituem ingredientes químicos, as quais são classificadas como produtos naturais, resultando em alimentos com rótulo mais transparente (*clean label*).<sup>10</sup>

As xilanases (1,4-β-D-xilana xilanohidrolases, EC 3.2.1.8) são enzimas que degradam o polissacarídeo xilana (principal componente da hemicelulose vegetal) em xilose pela quebra de hemiceluloses que estão entre os principais componentes da parede celular vegetal.<sup>11</sup> Essas enzimas podem atuar no branqueamento de polpas de celulose, o que reduz o uso de produtos altamente poluentes, como o cloro, no processo de clarificação

de sucos e vinhos e na liberação de xilo-oligossacarídeos que podem ser convertidos em outros produtos da indústria de alimentos,<sup>12</sup> o que justifica o seu interesse industrial.

Na área de panificação, as xilanases podem ser consideradas ingredientes enriquecedores, atuando como produtos biológicos seguros que substituem ingredientes químicos com um grande número de vantagens. Nesse contexto, essa revisão da literatura científica aborda a utilização do FT como substrato para a obtenção de xilanases fúngicas por fermentação submersa e fermentação em estado sólido, e discute o papel dessas enzimas para a melhoria da qualidade na produção de pães.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada por meio de revisão bibliográfica com artigos disponíveis em bancos de dados como Portal de Periódicos da Capes, PubMed, SciELO, ScienceDirect e Google Acadêmico, além de livros de referência, dissertações e teses. A pesquisa bibliográfica foi realizada entre maio de 2018 e maio de 2019, selecionando, para a revisão da literatura, trabalhos científicos publicados entre 2009 e 2019 (como exceção, algumas publicações de anos anteriores, consideradas de grande relevância, foram incluídas no processo de seleção). Adotaram-se, como critério de inclusão, publicações em Português e Inglês, as quais abordavam a produção de xilanase por fungos, com enfoque no farelo de trigo como substrato. Publicações referentes a outros tipos de enzimas foram excluídas do processo de seleção bibliográfica. Ao final da pesquisa, foram selecionadas 39 publicações. Para o levantamento bibliográfico foram utilizadas as palavras-chave: enzimas (*enzymes*), produção de enzimas (*enzymatic production*), xilanases (*xylanases*), xilanases fúngicas (*fungus xylanases*), farelo de trigo (*wheat bran*), farinha de trigo (*wheat flour*), fermentação microbiana (*microbial fermentation*) e fermentação de enzimas (*enzymatic fermentation*).

## 3 REVISÃO DA LITERATURA

### 3.1 PROCESSOS UTILIZADOS PARA A PRODUÇÃO DE ENZIMAS

As enzimas de origem microbiana possuem muitas vantagens sobre as equivalentes de origem animal ou vegetal, como: menor custo de produção, possibilidade de produção

em larga escala em fermentadores industriais, além de oferecerem um amplo espectro de características físico-químicas.<sup>13</sup> Em regiões tropicais, como o Brasil, a grande diversidade de micro-organismos existente pode ser ainda mais explorada quanto ao seu potencial para a produção de novas enzimas.<sup>7</sup>

As enzimas podem ser constitutivas – produzidas em velocidade e quantidades constantes, independentemente do estado metabólico do organismo<sup>14</sup> – ou indutivas, ou seja, produzidas pelos micro-organismos na presença de um indutor (o próprio substrato ou um produto da sua hidrólise) adicionado ao meio de cultivo a fim de estimular a produção,<sup>13</sup> que pode aumentar em até 1000 vezes, principalmente se esse substrato for uma fonte energética para a célula.<sup>14</sup>

Os meios de cultivo a serem utilizados para a produção enzimática podem ser formulados a partir de matérias-primas naturais (como resíduos agroindustriais) ou de compostos quimicamente conhecidos (meios sintéticos). Esses meios devem conter fontes de carbono (como farinhas amiláceas, melaços, licores de milho, soja e outros cereais), fontes de nitrogênio (como farinha de peixe, gelatinas, licores de milho e de soja) e fatores de crescimento e micronutrientes (como extrato de levedura e farinhas de sementes oleaginosas).<sup>15</sup>

Existem dois tipos básicos de fermentação que são utilizados para a produção de enzimas: a Fermentação Submersa (FS) e a Fermentação em Estado Sólido (FES). Na FS, o crescimento microbiano geralmente ocorre em substrato dissolvido em excesso de água livre, ou suspenso na fase líquida. O caldo de cana-de-açúcar, usado para a produção de etanol, constitui um exemplo clássico de meio utilizado para a FS. Já a FES consiste no crescimento e na formação do produto em partículas sólidas na ausência (ou quase ausência) de água, entretanto, o substrato contém a umidade necessária ao metabolismo microbiano.<sup>16</sup> Para a produção enzimática, destaca-se o uso da FS, já que esse processo pode levar a melhores rendimentos e características do produto,<sup>17</sup> além de fácil manuseio das condições operacionais em grande escala, se comparada à FES.

A FS inicia com os processos prévios à fermentação, também chamados de processos *upstream* (Figura 1). A cultura estoque microbiana é cultivada em frascos sob agitação até que seja atingida a fase de crescimento exponencial média ou tardia. Em seguida, esse cultivo (pré-inóculo) é transferido para um ou mais fermentadores com 100 a 500 litros de capacidade, contendo o meio de cultivo similar ao utilizado para a produção

enzimática, em que permanece pelo tempo necessário de crescimento, para que então seja transferido para o fermentador principal contendo o meio de cultura necessário para que ocorra a produção enzimática, geralmente em condições assépticas.<sup>15,18,19</sup>

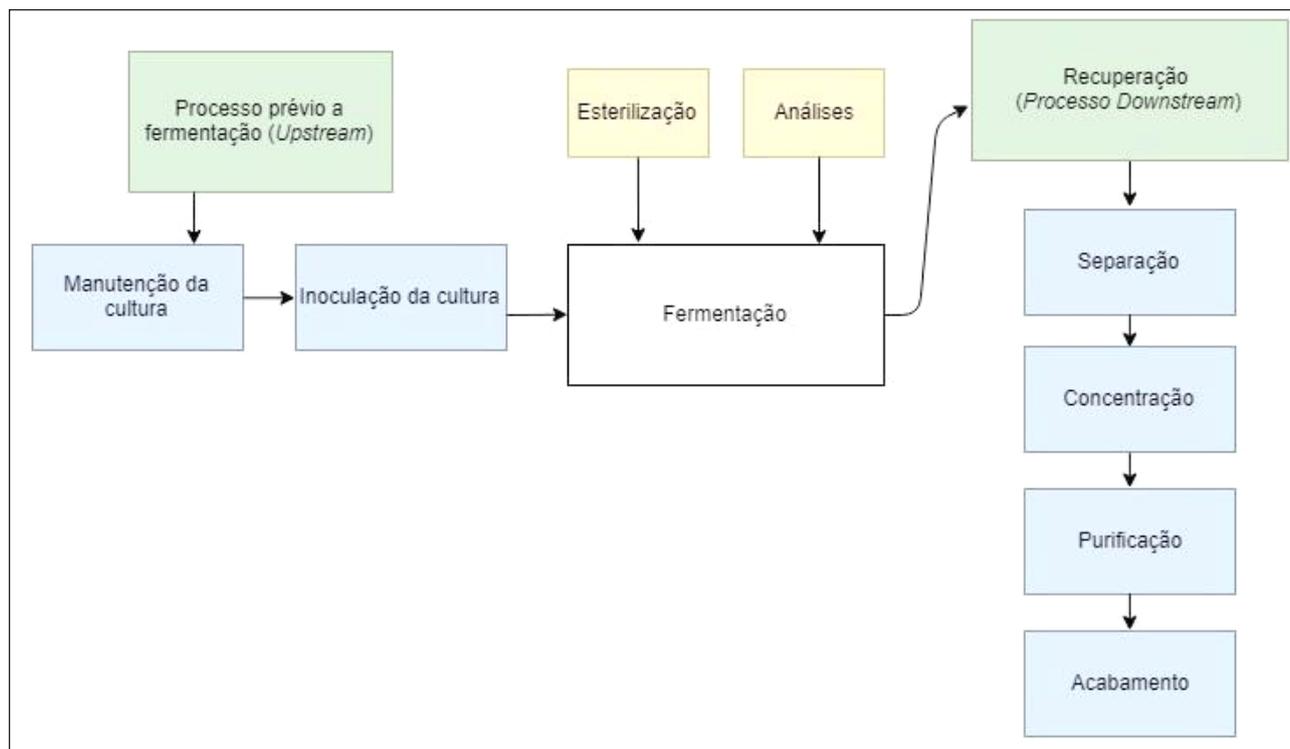


Figura 1 – Fluxograma simplificado da produção de enzimas microbianas por fermentação submersa  
Fonte: adaptada de European Commission.<sup>19</sup>

Os processos pós-fermentação (ou *downstream*) são empregados a fim de recuperar as enzimas produzidas no caldo fermentado. Durante as etapas de separação e purificação, as substâncias tóxicas e/ou metabólitos indesejáveis são removidos; já as células microbianas são separadas do caldo fermentado por centrifugação ou filtração.<sup>15,18</sup>

A purificação de enzimas, como as xilanases, é importante para eliminar a contaminação com outras proteínas e enzimas (como as celulasas), e também compostos derivados do substrato (principalmente os insolúveis, como o FT) utilizados no meio de cultura. Uma possível contaminação pode interferir nas análises de atividade e características físico-químicas.<sup>20</sup> No entanto, cabe salientar que, ainda que as enzimas possam ser purificadas várias vezes, esse processo é dispendioso em termos de equipamento, mão de obra e pode acarretar um rendimento muito baixo (<10%) com relação à atividade do material

original. Assim, algumas preparações enzimáticas comerciais são minimamente purificadas e consistem essencialmente em caldo de fermentação concentrado, além de aditivos para estabilizar a atividade enzimática, removendo-se apenas outras enzimas e materiais que possam interferir nessa ação.<sup>19</sup>

Na FS os compostos bioativos são secretados no próprio caldo de fermentação e os substratos são utilizados muito rapidamente. Como desvantagem, é preciso que o substrato seja constantemente substituído ou complementado com nutrientes. Essa técnica de fermentação é mais adequada para micro-organismos como as bactérias, que exigem alto teor de umidade. Sua vantagem é que a purificação de produtos é mais fácil, sendo usada principalmente na extração de metabólitos secundários que precisam ser usados na forma líquida.<sup>21</sup>

Já a FES é o processo de cultivo de micro-organismos sobre partículas sólidas úmidas que funcionam como suporte físico e fonte de nutrientes; na ausência de água livre aparente, os espaços vazios são preenchidos por ar. A maioria dos substratos empregados nesse processo são resíduos agroindustriais como FT, farelo de soja, farelo de arroz, bagaço de mandioca, bagaço de cana-de-açúcar, entre outros.<sup>22</sup> A estrutura desses materiais tem como seus principais componentes celulose, hemicelulose, lignina, amido, pectina e proteínas, caracterizando-os como materiais extremamente heterogêneos,<sup>17</sup> e como geralmente são usados na forma bruta (grãos), disponibilizam um grande número de substâncias nutritivas adicionais ao meio de cultura,<sup>19</sup> servindo tanto como fonte de carbono e energia quanto de suporte para o crescimento microbiano.<sup>17</sup>

A principal vantagem de usar esses substratos é que são resíduos ricos em nutrientes e podem ser facilmente reciclados. Nessa técnica de fermentação os substratos são utilizados muito lentamente e de forma constante, de modo que o mesmo substrato pode ser usado por longos períodos de fermentação. Assim, essa técnica suporta a liberação controlada de nutrientes, sendo mais adequada para a fermentação de fungos e micro-organismos que exigem menos umidade. No entanto, não pode ser usada para organismos que exijam alta atividade de água, como as bactérias.<sup>23</sup>

### 3.2 PRODUÇÃO DE XILANASES POR FUNGOS UTILIZANDO FARELO DE TRIGO COMO SUBSTRATO

As xilanases microbianas representam os catalisadores preferidos pela indústria para a hidrólise da xilana em razão da sua alta especificidade, baixa perda de substrato, condições de reações brandas e tamanho do produto gerado.<sup>24</sup> Entre os micro-organismos, os fungos se destacam como produtores de hemicelulases como as glucanases e xilanases.<sup>25</sup> Contudo, o elevado custo de produção é uma das principais barreiras para o amplo leque de aplicações industriais de xilanases. Assim, o uso de resíduos agroindustriais como substratos para a produção enzimática se torna uma ferramenta importante para reduzir o custo de produção.<sup>26</sup>

Nesse contexto, Amorim<sup>27</sup> avaliou a liquefação enzimática do FT como recurso para a produção de xilanase por *Aspergillus niger* A12 em FS, evidenciando que o uso do FT liquefeito como substrato pode ser uma alternativa para a produção de xilanase em FS, visto que a atividade xilanásica específica foi até cinco vezes maior do que aquela obtida em cultivo com FT não liquefeito (31.7 contra 6.1 IU g<sup>-1</sup>).

Geralmente as xilanases são produzidas por FS, contudo, a FES tem se destacado atualmente em decorrência da sua alta taxa de conversão de biomassa em energia, do tratamento de resíduos e de sua produção de metabólitos secundários.<sup>10</sup> A fim de comparar ambos os processos, Zanchetta<sup>28</sup> empregou a FS e a FES, com diferentes substratos, para avaliar a produção de xilanase fúngica. Para *Chaetomium* sp. sp N13, o melhor resultado foi obtido com a FES, com produções de xilanase (1569,4 U g<sup>-1</sup> em 240h de cultivo em bagaço de cana e FT (1:1)). Já *Humicola grisea* var. *thermoidea* produziu uma quantidade de xilanase superior ao ser utilizada a FS, em que a maior produção de xilanase (330,3 U g<sup>-1</sup>) ocorreu em 240h de cultivo em bagaço de cana e FT (1:1). O terceiro fungo avaliado, *Thermomucor indicae-seudaticae* N31, apresentou as maiores produções de xilanase (13,5 U g<sup>-1</sup>) com 192h de cultivo em FT por FES.

Utilizando esse processo de fermentação, Bakker, Santos e Macedo<sup>12</sup> relataram que linhagem *Aspergillus oryzae* ATCC 9362 produziu xilanase já nas primeiras 72h de cultivo em FES com FT como substrato. O caldo enzimático obtido, que se mostrou estável por 30 dias e manteve sua atividade xilanolítica por seis meses, foi aplicado em uma farinha de trigo padrão e submetido às análises de *falling number* e alveografia, ao ponto de reclassificá-

la de uma farinha com padrão de qualidade para o segmento de massas a uma farinha destinada ao mercado de panificação.

A Tabela 2 reúne outros estudos nos quais o FT foi utilizado como substrato para a produção de xilanases fúngicas. De acordo com a literatura científica analisada, a produção de xilanase é fortemente influenciada pelo substrato, processo fermentativo e micro-organismo utilizado, além dos parâmetros aplicados em cada processo.

Tabela 2 – Xilanases fúngicas obtidas por fermentação com farelo de trigo

Fungo produtor	Condições de cultivo	Máxima atividade	Referência
<i>Aspergillus brasiliensis</i>	FES, 37 °C, 9 dias, pH 4,5	230 U g <sup>-1</sup>	Menezes, Rossi, Squina e Ayub <sup>29</sup>
<i>A. fumigatus</i>	FES, 45 °C, 24h, pH 4,5	574 U g <sup>-1</sup>	Gomes, Santos, Franciscan e Baffi <sup>30</sup>
<i>Aspergillus nidulans</i>	FES, 37 °C, 9 dias, pH 7,5	187,9 U g <sup>-1</sup>	Menezes, Rossi, Squina e Ayub <sup>29</sup>
<i>Aspergillus niger</i>	FES, 40 °C, 4 dias, pH 6,0	300 U g <sup>-1</sup>	Kshirsagar, Chandak e Murarkar <sup>11</sup>
<i>A. niger</i>	FES, 30 °C, 6 dias, pH 5,0	771 IU gds <sup>-1</sup>	Kumar, Amit, Alok e Dharm <sup>6</sup>
<i>Aspergillus terreus</i>	FS, 30 °C, 150 rpm, 120h, pH 8,0	65,5 U mL <sup>-1</sup>	Sharma e Baja <sup>26</sup>
<i>Myceliophthora sp.</i>	FES, 45 °C, 96h, pH 5,0	931,11 U g <sup>-1</sup>	Pereira, Marques, Rodrigues, Oliveira, Boscolo e Silva, <i>et al.</i> <sup>31</sup>
<i>Myceliophthora heterothallica</i>	FES, 65-70 °C, 2 dias, pH 4,5	1600 U mg <sup>-1</sup>	Simões, Silva, Nascimento, Boscolo, Gomes e Silva <sup>20</sup>
<i>Neurospora intermedia</i>	FS, 65 °C, 40h, pH 5,0	14,77 U mL <sup>-1</sup>	Shahryari, Fazaelipoor, Ghasemi, Lennartsson e Taherzadeh <sup>32</sup>
<i>Phomopsis stipitata</i>	FES, 28 °C, 7 dias, pH 5,0	694,33 U g <sup>-1</sup>	Marques, Pereira, Gomes, Silva, Araujo, Ferreira, <i>et al.</i> <sup>33</sup>
<i>Pichia stipitidis</i>	FS, 50 °C, 9 dias, pH 6,0	5536 U g <sup>-1</sup>	Ding, Li e Hu <sup>34</sup>
<i>Trichoderma reesei</i>	FS, 28 °C, 240h, 250 rpm, pH 4,5	52,39 U mL <sup>-1</sup>	Silva, Hergesel, Campioni, Carvalho, Oliva-Neto <sup>35</sup>

Nota: FES = fermentação em estado sólido; FS = fermentação submersa; IU gds<sup>-1</sup> = unidade de medida internacional de atividade enzimática por grama de resíduo sólido.

### 3.3 APLICAÇÃO DA XILANASE PARA MELHORIA DA QUALIDADE DE PÃES

Em razão da sua eficácia, a aplicação de enzimas xilanolíticas na panificação vem crescendo ao longo das últimas décadas. Nas farinhas de trigo há uma pequena porcentagem de pentosanas, como as xilanas, que impedem o desenvolvimento do glúten; assim, xilanases são de grande valor na panificação, pois, ao se utilizar a xilanase, é possível hidrolisá-la, proporcionando uma melhoria no volume do pão e na estrutura do miolo, com redução da viscosidade. Além disso, xilanases utilizadas em níveis ótimos

desempenham um papel significativo no aumento da vida de prateleira do pão e reduzem o envelhecimento deste.<sup>25</sup>

McPhillips, Waters, Parlet, Walsh, Arendt e Murray<sup>36</sup> realizaram um trabalho pioneiro de investigação a respeito da produção de enzimas hidrolíticas hemicelulósicas por *Remersonia thermophila* CBS 540.69, com posterior purificação de  $\beta$ -1,4-xilanase e aplicação em panificação. Os resultados obtidos demonstraram uma melhora na qualidade final dos pães nos quesitos de volume específico, maciez e vida de prateleira quando comparados com o teste padrão. Esses resultados podem estar relacionados ao fato de a ação enzimática ser ótima na temperatura e no pH do teste de panificação (65 °C e pH 6,0); além disso, o estudo revelou que essa  $\beta$ -1,4-xilanase é puramente xilanólítica, com alta eficiência catalítica sob as arabiloxilanas, resultando em uma produção de xilo-oligossacarídeos solúveis em água, os quais são benéficos para a panificação.

Ainda nesse contexto, Yegin, Altinel e Tuluk<sup>37</sup> obtiveram uma xilanase extremofílica a partir da fermentação utilizando o FT como substrato e o *Aureobasidium pullulans* NRRL Y-2311-1 como micro-organismo fermentador. A enzima resultante foi avaliada em testes reológicos e de panificação, pela primeira vez, e comparada com duas xilanases comerciais mundialmente utilizadas durante testes de panificação. A nova xilanase proporcionou um aumento de 30% no volume específico dos pães em comparação com as enzimas comerciais testadas, além de se demonstrar mais eficaz na diminuição da firmeza do miolo.

Elgharbi, Hmida-Sayari, Zaafour e Bejar<sup>38</sup> realizaram a clonagem do cDNA da  $\beta$ -1,4-endoxilanase de *Aspergillus niger* US368, o qual foi expresso em *Pichia pastoris*, acarretando uma atividade xilanásica ( $41 \text{ U mL}^{-1}$ ) três vezes maior do que a encontrada em sua espécie nativa. A xilanase obtida foi submetida a testes de panificação utilizando farinha de trigo integral, proporcionando uma melhora significativa no volume dos pães, mesmo utilizando baixas dosagens ( $0,5, 0,75$  e  $1 \text{ U g}^{-1}$ ).

Já Cunha, Gama, Cintra, Bataus e Ulhoa<sup>39</sup> realizaram a clonagem molecular, purificação e caracterização de uma xilanase de *Streptomyces* sp. S27, a qual foi expressa em *Pichia pastoris*, além de avaliarem sua aplicação em panificação em concentrações de  $75, 150$  e  $300 \text{ U Kg}^{-1}$  de farinha de trigo. Essa xilanase recombinante (r-XynS27) produzida por *Pichia pastoris* demonstrou características interessantes para uso no processo de panificação, como alta estabilidade em pH  $5,0-7,0$ , termoestabilidade a  $50-60 \text{ °C}$  e alta tolerância à inibição da xilose. Todos os tratamentos enzimáticos mostraram um

aumento significativo no volume específico dos pães. Firmeza, crocância e rigidez foram significativamente menores em comparação com o controle, o que resultou em pães mais macios.

## 4 CONCLUSÃO

A utilização de resíduos agroindustriais como substrato para a obtenção de produtos de alto valor agregado é uma excelente alternativa sustentável para a produção de enzimas. Os trabalhos analisados mostram que a escolha do substrato e o tipo de processo aliado à identificação dos melhores parâmetros fermentativos são objetos de grande estudo quando se deseja obter enzimas com eficiência catalítica cada vez maior. O FT mostrou ser um substrato potencial para a fermentação fúngica gerando a xilanase, um produto biotecnológico natural, o qual permite a produção de alimentos mais seguros e com rótulos mais limpos, aplicável na indústria de panificação.

## REFERÊNCIAS

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistics Division [Internet]. [citado em 2009 ago 2 ago]. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>
2. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento (PR), Departamento de Economia Rural. Análise da Conjuntura Agropecuária Safra 2008/09. Curitiba: Secretaria da Agricultura e do Abastecimento; 2009.
3. Belderok B, Mesdag J, Donner DA. Bread making quality of wheat: a century of breeding in Europe. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers; 2000. 416 p.
4. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BR), Secretaria de Política Agrícola. Política agrícola brasileira para a triticultura e demais culturas de inverno. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento: Secretaria de Política Agrícola; 2012.
5. Coultate T. Food: the chemistry of its components. 6th ed. Cambridge: The Royal Society of Chemistry; 2016. 599 p.

6. Kumar BA, Amit K, Alok K, Dharm D. Wheat bran fermentation for the production of cellulase and xylanase by *Aspergillus niger* NFCCI 4113. Res. J. Biotech. 2018;13(5):11-8.
7. Orlandelli RC, Almeida TT, Alberto RN, Polonio JC, Azevedo JL, Pamphile JA. Antifungal and proteolytic activities of endophytic fungi isolated from *Piper hispidum* Sw. Braz. J. Microbiol. 2015;46(2):359-66. doi:10.1590/S1517-838246220131042
8. Orlandelli RC, Santos MS, Polonio JC, Azevedo JL, Pamphile JA. Use of agro-industrial wastes as substrates for  $\alpha$ -amylase production by endophytic fungi isolated from *Piper hispidum* Sw. Acta Sci. Technol. 2017;39(3):255-61. doi:10.4025/actascitechnol.v39i3.30067
9. Felber AC, Specian V, Orlandelli RC, Costa AT, Polonio JC, Mourão KSM, et al. Endoglucanase production by endophytic fungi isolated from *Vitis labrusca* L. with peanut hull and sawdust as substrates. Biosci. J. 2019;35(3):933-40. doi:10.14393/BJ-v35n3a2019-42403
10. Monteiro VN, Silva RN. Aplicações industriais da biotecnologia enzimática. Rev. Proc. Quim. 2009;3(5):9-23.
11. Kshirsagar A, Chandak A, Murarkar K. Production of xylanase from low cost wheat bran, corn cobs and pigeon pea pods waste by isolated fungi under solid state fermentation. Int. J. Recent Sci. Res. 2018;9(5):26584-88. doi:10.24327/ijrsr.2018.0905.2085
12. Bakker CMCN, Santos ES, Macedo GR. Produção de xilanases por fermentação em estado sólido, de farelo de trigo utilizando consorcios fúngicos. Hig. Aliment. 2017;31(266-67):80-4.
13. Roveda M, Hemkemeier M, Colla LM. Avaliação da produção de lipases por diferentes cepas de microrganismos isolados em efluentes de laticínios por fermentação submersa. Ciênc. Tecnol. Aliment. 2010;30(1):126-31. doi:10.1590/S0101-20612010000100019
14. Zaha A, Ferreira HB, Passaglia, LMP, organizadores. Biologia molecular básica. 5ª ed. Porto Alegre: ArtMed; 2014. 416 p.

15. Sant'anna Junior GL. Produção de enzimas microbianas. In: Lima UA, Aquarone E, Borzani W, Schmidell W, coordenadores. *Biotecnologia industrial – processos fermentativos e enzimáticos*. São Paulo: Edgard Blücher; 2001. p. 351-362.
16. Pandey A. Solid-state fermentation. *Biochem. Eng. J.* 2003;13(2-3):81-4. doi:10.1016/S1369-703X(02)00121-3
17. Martins S, Mussatto SI, Martínez-Avila G, Montañez-Saenz J, Aguilar CN, Teixeira JA. Bioactive phenolic compounds: production and extraction by solid-state fermentation. A review. *Biotechnol. Adv.* 2011;29:365-73. doi:10.1016/j.biotechadv.2011.01.008
18. Orlandelli RC, Specian V, Felber AC, Pamphile JA. Enzimas de interesse industrial: produção por fungos e aplicações. *SaBios: Rev. Saúde e Biol.* 2012;7(3):97-109.
19. European Commission. Collection of information on enzymes – final report, 2002 [Internet]. Luxemburgo: Office for Official Publications of the European Communities [citado em 2019 ago 2]. Disponível em: <http://ec.europa.eu/environment/archives/dansub/pdfs/enzymerepcomplete.pdf>
20. Simões LCO, Silva RR, Nascimento CEO, Boscolo M, Gomes E, Silva, R. Purification and physicochemical characterization of a novel thermostable xylanase secreted by the fungus *Myceliophthora heterothallica* F.2.1.4. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 2019;188(4):991-1008. doi: 10.1007/s12010-019-02973-8
21. Subramaniyam R, Vimala R. Solid state and submerged fermentation for the production of bioactive substances: a comparative study. *Int. J. Sci. Nat.* 2012;3(3):480-86.
22. Pandey A. Recent process developments in solid-state fermentation. *Process Biochem.* 1992;27(2):109-17. doi:10.1016/0032-9592(92)80017-W
23. Babu KR, Satyanarayana T. Production of bacterial enzymes by solid state fermentation. *J. Sci. Ind. Res.* 1996;55(5-6):464-67.
24. Kulkarni N, Shendye A, Rao M. Molecular and biotechnological aspects of xylanases. *FEMS Microbiol. Rev.* 1999;23(4):411-56. doi:10.1111/j.1574-6976.1999.tb00407.x

25. Butt MS, Tahir-Nadeem M, Ahmad Z, Sultan MT. Xylanases and their applications in baking industry. *Food Technol. Biotechnol.* 2008;46(1):22-31.
26. Sharma S, Baja BK. Xylanase production from a new strain of *Aspergillus terreus* S9 and its application for saccharification of rice straw using combinatorial approach. *Environ. Prog. Sustain. Energy.* 2017;37(3):1210-19. doi:10.1002/ep.12779
27. Amorim CC. Liquefação de farelo de trigo para produção de xilanases por cultivo submerso de *Aspergillus niger* [dissertação]. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química; 2017.
28. Zanchetta, A. Produção de celulasas fúngicas por fermentação em estado sólido e submersa utilizando biomassa lignocelulósica [dissertação]. São José do Rio Preto: Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas; 2012.
29. Menezes BS, Rossi DM, Squina F, Ayub MAZ. Comparative production of xylanase and the liberation of xylooligosaccharides from lignocellulosic biomass by *Aspergillus brasiliensis* BLf1 and recombinant *Aspergillus nidulans* XynC A773. *Int. J. Food Sci. Technol.* 2018;53(9):2110-8. doi:10.1111/ijfs.13798
30. Gomes AFS, Santos BSL, Franciscan EG, Baffi MA. Substrate and temperature effect on xylanase production by *Aspergillus fumigatus* using low cost agricultural wastes. *Biosci. J.* 2016;32(4):915-21. doi:10.14393/BJ-v32n4a2016-32935
31. Pereira JC, Marques NP, Rodrigues A, Oliveira TB, Boscolo T, Silva R, et al. Thermophilic fungi as new sources for production of cellulases and xylanases with potential use in sugarcane bagasse saccharification. *J. Appl. Microbiol.* 2015;118(4):928-39. doi:10.1111/jam.12757
32. Shahryari Z, Fazelipour MH, Ghasemi Y, Lennartsson PR, Taherzadeh MJ. Amylase and xylanase from edible fungus *Neurospora intermedia*: production and characterization. *Molecules.* 2019;24(4). doi:10.3390/molecules24040721

33. Marques NP, Pereira JC, Gomes E, Silva R, Araujo AR, Ferreira H, et al. Cellulases and xylanases production by endophytic fungi by solid state fermentation using lignocellulosic substrates and enzymatic saccharification of pretreated sugarcane bagasse. *Ind. Crop. Prod.* 2018;122:66-75. doi:10.1016/j.indcrop.2018.05.022
34. Ding C, Li M, Hu Y. High-activity production of xylanase by *Pichia stipitis*: purification, characterization, kinetic evaluation and xylooligosaccharides production. *Int. J. Biol. Macromol.* 2018;117:72-7. doi:10.1016/j.ijbiomac.2018
35. Silva DF, Hergesel LM, Campioni TS, Carvalho AFA, Oliva-Neto P. Evaluation of different biological and chemical treatments in agroindustrial residues for the production of fungal glucanases and xylanases. *Process Biochem.* 2018;67:29-37. doi:10.1016/j.procbio.2018.02.008
36. McPhillips K, Waters DM, Parlet C, Walsh DJ, Arendt EK, Murray PG. Purification and characterisation of a  $\beta$ -1,4-xylanase from *Remersonia thermophila* CBS 540.69 and its application in bread making. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 2013;172(4):1747-62. doi:10.1007/s12010-013-0640-1
37. 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 Hydrocoll.* 2018;81:389-97. doi:10.1016/j.foodhyd.2018.03.012
38. Elgharbi F, Hmida-Sayari A, Zaafouri Y, Bejar S. Expression of an *Aspergillus niger* xylanase in yeast: application in breadmaking and in vitro digestion. *Int. J. Biol. Macromol.* 2015;79(1):103-9. doi:10.1016/j.ijbiomac.2015.04.053
39. Cunha CCQB, Gama AR, Cintra LC, Bataus LAM, Ulhoa CJ. Improvement of bread making quality by supplementation with a recombinant xylanase produced by *Pichia pastoris*. *PLoS ONE.* 2018;13(2). doi:10.1371/journal.pone.0192996

