

ENZIMAS EM PROCESSOS INDUSTRIAIS: UMA VISÃO GERAL DENTRO DO CONTEXTO BIOTECNOLÓGICO

F. R. Carlos¹, B. C. Gambarato², A. K. F. de Carvalho³

¹Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, Brasil (felipe.carlos@sou.unifal-mg.edu.br)

²Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, Brasil

³Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, Brasil

Enzimas são proteínas com funções catalíticas utilizadas pela humanidade há milênios, no entanto, seu uso se intensificou com o advento da biotecnologia e da química verde. As aplicações das enzimas crescem a cada dia, indo desde o início do processo industrial até o descarte de resíduos, além de baratear os custos, as enzimas podem reduzir os impactos ambientais dessa atividade. A principal fonte de enzimas industriais são as bactérias devido a rápida produção, facilidade de cultivo e preço.

Palavras-chave: enzimas; biotecnologia; indústria;

INTRODUÇÃO

As enzimas são uma classe de proteínas presentes em organismos vivos que desempenham papel catalítico em processos bioquímicos, sua presença é essencial para a manutenção do metabolismo. São moléculas altamente específicas capazes de combater infecções e patógenos, além de regular a atividade celular e degradar matéria orgânica, gerando produtos essenciais para o organismo, dentre outras funções de extrema importância (LEHNINGER et al., 2018).

Por meio de um modelo de encaixe induzido, as enzimas se ligam a substratos, sofrendo e realizando mudanças estruturais para, dessa forma, diminuir a energia de ativação necessária para a ocorrência de uma determinada reação. Por se tratarem de macromoléculas complexas, as enzimas possuem elevada sensibilidade estrutural e somente apresentam atividade em uma determinada faixa de pH e temperatura.

Apesar de serem utilizadas há milhares de anos, de forma direta ou indireta, apenas no século 18 os mecanismos de ação de certas enzimas foram desvendados e estas começaram a ser intensivamente estudadas. Em 1783 Lazzaro Spallanzani (1729-1799) observou uma reação enzimática de degradação da carne pelo suco gástrico, sendo esse o primeiro registro do uso de enzima sabendo-se que ali havia uma molécula que permitia a reação. Na década de 1850 Louis Pasteur (1822-1895) mostrou, por meio de vários experimentos, que a fermentação era um processo fisiológico a partir da conclusão que a conversão de açúcares em álcool era catalisada por “fermentos”. A palavra “fermentos” foi, então, substituída por “enzima”, vindo do grego “em leveduras”, que foi empregada pela primeira vez por

Wilhelm Kühne (1837-1900) em 1878 (TONOLLI et al., 2021). Até então, acreditava-se que enzimas eram ativas apenas enquanto estivessem em células vivas, no entanto, em 1897 os irmãos Büchner observaram a capacidade que o extrato obtido através da prensagem de células de levedura tinha de fermentar a sacarose, convertendo-a em etanol e CO₂. A partir de então iniciou-se um processo intensivo de estudos e utilização das enzimas.

Em 1956, o Presidente da IUB (União Internacional de Bioquímica), Professor Marcel Florkin (1900-1979), estabeleceu a Enzyme Commission, um comitê especial filiado a IUPAC (União Internacional de Química Pura e Aplicada) que serviria como órgão para catalogar e categorizar as enzimas, atribuindo as mesmas um número de identificação, hoje conhecido como número EC. As enzimas são organizadas de acordo com a reação que catalisam, havendo sete grupos de enzimas, que compõem o primeiro dígito do número EC, são elas, em respectiva ordem numérica: oxirredutases, transferases, hidrolases, liases, isomerases, ligases e translocases (NC-IUBMB, 2014), sendo as translocases o grupo mais recente a ser criado.

O mercado mundial de enzimas para a produção industrial é uma área aquecida, tendo movimentado USD 10,69 bilhões em 2020 com perspectivas de crescimento de 6,5% ao ano até 2027, tendo como principal movimentador os Estados Unidos, que detém cerca de 37,5% do mercado, seguido da Alemanha (Grand View Research, 2021).

Devido à sua alta especificidade, bem como sua contribuição para a redução de impactos ambientais negativos, as enzimas podem ser aplicadas como biocatalisadores em processos industriais. Contudo, o

processo de extração e purificação destas biomoléculas ainda é bastante elevado. Para minimizar os custos e aumentar a rentabilidade dos processos, as enzimas podem ser imobilizadas, o que permite sua reutilização e maior durabilidade. Diferentes métodos de imobilização foram desenvolvidos ao longo dos anos e cada enzima tem um método que se adequa melhor a ela, não havendo um método de imobilização geral (Souza et al., 2017).

No Brasil, a utilização de enzimas com potencial industrial vem ganhando cada vez mais espaço, principalmente na indústria alimentícia, onde podem ser utilizadas pela indústria de bebidas, fermentados e aplicadas em uma ampla gama de processos, que abrangem tanto a produção quanto o melhoramento e conservação de produtos (EMBRAPA, 2019). Além disso, a indústria farmacêutica apresenta bastante interesse na aplicação de processos enzimáticos em substituição aos processos puramente químicos, devido à alta especificidade da síntese e, ainda, a biocompatibilidade das moléculas produzidas (Craik, 2011). Já o setor agropecuário pode, também, aplicar enzimas na modificação de seus processos ao gerar menor quantidade de resíduos, bem como promover o aproveitamento dos subprodutos (EMBRAPA, 2020).

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho utilizou o método de pesquisa bibliográfica em seu desenvolvimento, tendo como objetivo reunir informações sobre o uso de enzimas em processos industriais, como essas moléculas vem sendo utilizadas e um panorama de como poderão ser utilizadas no futuro. Inicialmente, foi feita uma intensa pesquisa nos bancos de dados: Google Acadêmico, Scopus, Periódicos Capes e Science Direct, destacando as palavras-chave “enzimas”, “produção industrial”, “mercado enzimático”, entre outras. Além disso, também foram consultadas bibliotecas digitais de diversas faculdades e sites de agências públicas e privadas de tecnologia, desenvolvimento industrial, bem como relatórios de mercado.

A revisão bibliográfica foi escrita com base nas fontes escolhidas, visando trazer informações sobre o histórico da utilização de enzimas na indústria, sua obtenção, os diferentes tipos e suas características. Uma pesquisa mais detalhada foi realizada sobre o panorama atual da utilização de enzimas na indústria abordando seus efeitos no meio ambiente, economia e inovação tecnológica.

Os dados encontrados foram avaliados, discutidos e comparados, com o objetivo de demonstrar quais as fontes mais rentáveis de enzimas e seus processos de obtenção, comparar os produtos que utilizam enzimas

com aqueles similares que não as utilizam e como as enzimas afetam a qualidade do produto.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Processos industriais

Um processo industrial é, por definição, a ação ou conjunto de ações realizadas para transformar uma matéria prima qualquer em um produto de maior valor agregado. Nota-se, portanto, que mesmo antes da indústria em si existir, os processos industriais já existiam, embora em escala reduzida.

Com o advento de novas tecnologias, novos conhecimentos acerca da bioquímica dos organismos, além é claro da expansão da biotecnologia e da química verde, novas maneiras de se realizar tais processos foram sendo descobertas. As enzimas são, atualmente indispensáveis em diversas indústrias, tais como a de alimentos, sendo esse o setor que mais apresenta demandas por enzimas industriais (Garg et al., 2016), e vêm ganhando cada vez mais espaço em outros setores por conta de suas diversas vantagens em relação aos catalisadores químicos.

Enzimas na produção industrial

Das sete categorias de enzimas apresentadas, as quais foram definidas pela Enzyme Commission, as hidrolases são as mais utilizadas na produção industrial, uma vez que essas enzimas são capazes de realizar a hidrólise de ligações covalentes utilizando a água como molécula receptora de grupos funcionais. As hidrolases são subdivididas em três categorias, de acordo com o macronutriente que hidrolisa: carboidrases, que catalisam a hidrólise de oligo e polissacarídeos; proteases, que catalisam a hidrólise de proteínas; e as lipases, capazes de catalisar a hidrólise de lipídios.

Tais enzimas podem ser utilizadas em todas as partes do processo industrial, desde as etapas preliminares até a hora do tratamento e descarte de resíduos. A atividade industrial realizada em granjas, matadouros e indústrias de laticínios, por exemplo, gera grandes quantidades de resíduos de natureza lipídica, com potencial de causar enormes danos ao meio ambiente. O tratamento convencional destes resíduos lipídicos é realizado por meio de um sistema de biodigestores anaeróbios. Este processo, no entanto, além de lento, é ineficiente, uma vez que nem todos os lipídeos são metabolizados pelas espécies microbianas presentes nos biodigestores. Assim, a utilização de lipases, vindas de diversos microrganismos, antes da etapa de descarte reduz a quantidade de resíduo produzido, além de poderem ser utilizadas junto dos biodigestores de modo a contribuir para uma eliminação mais eficiente dos resíduos lipídicos (Mendes et al., 2005).

As enzimas utilizadas, no entanto, devem passar por um processo de avaliação físico-química para que sejam sempre utilizadas nas condições ideais. Na indústria de laticínios, por exemplo, sabe-se que a enzima lactase de origem fúngica reage melhor em meios mais ácidos, tal como o soro do leite, enquanto que a lactase de origem bacteriana é mais eficaz em uma faixa de pH mais próxima da neutralidade (Panesar et al., 2010).

Produtos tradicionais X produtos enzimáticos

Desde a Idade Antiga o ser humano utiliza das enzimas para sua vida cotidiana, alimentos e bebidas, como pães, bolos, vinhos e cervejas, dependem diretamente da ação dessas moléculas para sua fabricação.

Com o advento da biotecnologia e da química verde, bem como os avanços nos estudos acerca das enzimas, estas se tornaram ferramentas atrativas para a redução de impactos no meio ambiente causados pela atividade humana, em especial a industrial, uma vez que se estima que 1/3 de todo o lixo produzido no mundo venha do setor industrial (BBC Future, 2021), sendo o setor de construção civil o maior responsável.

Com isso, diversos setores da indústria se esforçaram para desenvolver métodos, técnicas e produtos que utilizassem as enzimas, de modo a tornar o processo mais eficaz, reduzindo desperdícios e diminuindo a quantidade de resíduos, além de mais seguro ou menos danoso ao meio ambiente, substituindo os catalisadores químicos. Com tais métodos diversos setores da indústria podem se beneficiar das enzimas desde o início da produção industrial até a etapa do tratamento de resíduos (Singh et al., 2016; Vogel e May, 2019).

A indústria de detergentes utiliza de enzimas para tornar seu produto mais atrativo. A combinação de lipases e proteases no detergente faz com que o produto se torne um agente mais eficiente na remoção de manchas e sujeiras em comparação com os detergentes tradicionais, além de reduzir o impacto do produto no meio ambiente, tanto durante o seu uso, uma vez que dispensa a necessidade de água em temperaturas muito altas o que leva a economia de energia, quanto na etapa de descarte, já que as enzimas são degradadas após a utilização (Borba et al., 2017).

Na produção de papel, as enzimas são uma alternativa mais sustentável no processo de branqueamento, que tradicionalmente utiliza produtos químicos baseados em cloro, em especial o dióxido de cloro, que além de ser categorizado como perigoso pelo Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos

(GHS) pelo fato de ser altamente corrosivo e irritante, é extremamente tóxico a organismos aquáticos, portanto podendo causar grandes danos à fauna e flora aquática se entrar em contato com corpos de água, como rios ou mananciais (Sulyman et al., 2020).

Na indústria de alimentos, produtos como leite sem lactose seriam impossíveis de se fabricar não fosse a ação de enzimas como a lactase. Sendo assim, as enzimas não apenas melhoram os produtos que já estão no mercado, mas possibilitam o desenvolvimento de novos produtos que atendam às necessidades da população (Martarello, 2019).

Obtenção de enzimas para a produção industrial

Todo ser vivo utiliza enzimas para permitir que as reações químicas ocorram nas condições em que seus metabolismos se encontram. Dessa forma, as enzimas para aplicação industrial podem ser produzidas a partir de células microbianas, como as de bactérias, fungos e leveduras, além de células animais e vegetais. Do ponto de vista da produção e operacionalização, é preferível obter enzimas a partir de microrganismos, em especial as bactérias, por conta da alta velocidade de produção devido à elevada taxa metabólica, além de baixos custos e da grande diversidade de substratos que podem ser utilizados no cultivo (Wanderley et al., 2011).

Na produção biotecnológica de enzimas, o meio de cultivo é fator determinante, de acordo com o tipo de célula utilizada no processo. O meio sólido apresenta menor quantidade de água, favorecendo o crescimento de fungos, em especial os filamentosos, enquanto os cultivos para fermentação submersa assumem uma consistência mais líquida de modo a favorecer o crescimento de algas e, principalmente, bactérias, sendo esta forma a mais utilizada pela indústria (Sponchiado et al., 2020).

Além das vantagens já citadas, as bactérias apresentam outro bônus sobre os demais organismos: a maior facilidade em serem geneticamente manipuladas. Essa facilidade acarreta em grande número de enzimas de origem vegetal, animal ou fúngica sendo produzidas por bactérias para posterior utilização.

Bactérias do gênero *Aspergillus*, em especial aquelas pertencentes a espécie *Aspergillus niger*, atualmente, são indispensáveis na indústria, principalmente no setor alimentício, uma vez que esse microrganismo é seguro para se utilizar na produção de alimentos, além de possuir ótimos sistemas de secreção de proteínas (Li et al., 2020), ou seja, enzimas. Essa bactéria também possui a vantagem de ser relativamente fácil de se manipular geneticamente, ampliando ainda mais a quantidade de usos que tal

organismo pode apresentar às atividades industriais (Driouch, Sommer & Wittmann, 2010).

Outra bactéria de destaque na produção de enzimas industriais são as pertencentes aos gêneros *Bacillus*, cujos usos vão desde a quebra de carboidratos na indústria alimentícia, com diversos propósitos, até quebra de biofilmes para melhor qualidade do papel na indústria de papel e celulose, além disso, fungos

pertencentes ao gênero *Rhizopus*, que são capazes de produzir enzimas capazes de serem utilizadas na indústria farmacêutica, produção de biodiesel além de ser aplicado de maneira tanto industrial quanto tradicional na produção de alimentos fermentados. A Tabela 1 apresenta alguns dos tipos mais comuns de enzimas com origem microbiana utilizadas na indústria, bem como os microrganismos das quais elas podem ser extraídas.

Tabela 1. Principais enzimas utilizadas na indústria e os microrganismos das quais elas são extraídas (Singh et al., 2016, Mendes et al., 2005, Monteiro & Do Nascimento Silva, 2009)

Enzima	Indústria	Função	Organismo
Lactase (β -galactosidase)	Laticínios	Fabricação de produtos reduzidos em lactose	<i>Escherichia coli</i> , <i>Kluyveromyces sp.</i>
Lipase	Laticínios	Dar sabor aos queijos	<i>Aspergillus niger</i> , <i>Rhizopus sp.</i> , <i>Mucor sp.</i>
Amilase	Panificação	Melhorias na farinha, ajuste na maciez das massas	<i>Aspergillus sp.</i> , <i>Bacillus sp.</i>
Lipases (diversas)	Panificação	Estabilização e condicionamento das farinhas	<i>Aspergillus niger</i>
α -amilase e β -amilase	Bebidas	Hidrólise do amido e aumento da complexidade de sabores	<i>Bacillus sp.</i> , <i>Aspergillus sp.</i> , <i>Streptomyces sp.</i> , <i>Rhizopus sp.</i>
Nariginase	Bebidas	Remoção do gosto amargo	<i>Aspergillus niger</i>
Celulase	Bebidas	Clarificação de sucos	<i>Aspergillus niger</i> , <i>Trichoderma reesei</i>
Xilanase	Papel e Celulose	Melhoria dos alvejantes	<i>Trichoderma reesei</i> , <i>Thermomyces lanuginosus</i> , <i>Aureobasidium pullulans</i>
Proteases (diversas)	Papel e Celulose	Remoção de biofilmes	<i>Bacillus subtilis</i>
Lacase	Tratamento de Resíduos	Degradação de resíduos contendo compostos fenólicos e poliuretanos	<i>Trametes versicolor</i>
Lipases (diversas)	Tratamento de Resíduos	Tratamento de hidrocarbonetos oleosos	<i>Aspergillus oryzae</i> , <i>Candida tropicalis</i>
Lipases (diversas)	Tratamento de Resíduos	Descarte de águas residuárias	<i>Candida rugosa</i> , <i>Penicillium sp.</i>

Para que as enzimas estejam aptas a serem utilizadas em processos industriais, no entanto, é necessário que

essas moléculas passem por um processo de imobilização. Este processo é vantajoso pois permite a reutilização da mesma, impedindo sua degradação

no meio do processo industrial e reduzindo os custos associados à sua utilização. Além disso, enzimas imobilizadas são mais resistentes a mudanças no ambiente, suportando uma maior faixa de temperatura, pressão e pH (Souza et al, 2017).

Dentre os métodos de imobilização de enzimas mais comuns na indústria encontram-se o confinamento, a encapsulação, a adsorção, a ligação covalente e a reticulação, todos esses métodos foram esquematicamente representados na Figura 1.

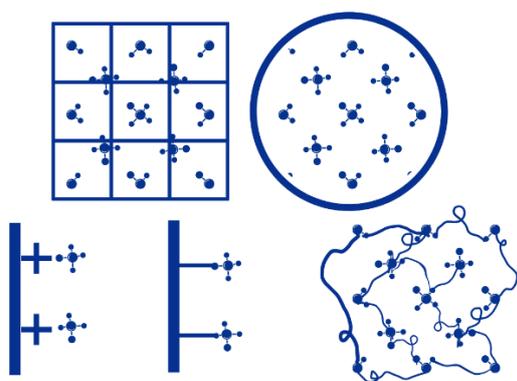


Figura 1. Tipos mais comuns de imobilização enzimática na indústria. Do autor, adaptada de Fernández-Fernández et al. 2017

CONCLUSÃO

O presente estudo mostrou as vantagens da utilização das enzimas no setor industrial, as principais maneiras de obtê-las e utilizá-las, bem como formas de imobilizá-las e assim tornar o processo mais rentável. De posse desses dados, conclui-se que os microrganismos são a fonte de enzimas para utilização industrial mais eficaz e rentável atualmente, e com o desenvolvimento de novas tecnologias podem se tornar ainda melhores.

Conclui-se também que as enzimas são capazes de tornar o processo industrial mais eficaz, rentável e seguro, além de menos danoso ao ambiente quando comparados aos processos tradicionais. Também se nota que a presença de enzimas em bens de consumo aumenta sua qualidade e rendimento, sendo, portanto, uma alternativa de maior valor agregado.

AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG pela Bolsa de Iniciação Científica - EDITAL Nº 017/2021 PRPPG Processo nº 23087.015472/2021-92.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA, **ageitec**, 2012, *Árvore do conhecimento: Tecnologia de alimentos – Enzimáticos*. Disponível em: <<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/tecnologia>

<[_de_alimentos/arvore/CONT000fid5sgif02wyiv80z4s473v6o7sud.html](#)>. Acesso em: 24 de fev. de 2022.

Blank, L. M.; Ebert, B. E.; Buehler, K.; Bühler, B. Redox Biocatalysis and Metabolism: Molecular Mechanisms and Metabolic Network Analysis. *Antioxidants & Redox Signaling* **2010**, 13, p. 349.

BORBA, Eliakin Sato de; GRÜNFELD FILHO, Erich; HARTIN, Luís Guilherme; BELO, Matheus Felipe Rocha Ferraz; QUANDT, Maykon Allan Soldati. Avaliação da atividade enzimática em diferentes marcas de detergentes comerciais. 2017. 21 f. TCC (Graduação) – Curso de Técnico em Química, Instituto Federal Catarinense, Araquari, 2017.

CARVALHO, Aparecida Selsiane Sousa. Produção de lipases em cultivo submerso por bactéria termofílica utilizando resíduo e coprodutos agroindustriais. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Campo dos Goytacazes, p. 87. 2019

CRAIK, Charles S.; PAGE, Michael J.; MADISON, Edwin L. Proteases as therapeutics. *Biochemical Journal*, v. 435, n. 1, p. 1-16, 2011.

DRIOUCH, Habib; SOMMER, Becky; WITTMANN, Christoph. Morphology engineering of *Aspergillus niger* for improved enzyme production. *Biotechnology and bioengineering*, v. 105, n. 6, p. 1058-1068, 2010.

DU PLESSIS, David JF; NOUWEN, Nico; DRIESSEN, Arnold JM. The sec translocase. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes*, v. 1808, n. 3, p. 851-865, 2011.

ENZYMES market size, share & trends analysis report by type (industrial, specialty), by product (carbohydrase, proteases), by source (microorganisms, animals), by region, and segment forecasts, 2021 – 2028. **Grand View Research**, 2021, *Catalysts and Enzymes*. Disponível em: <<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/enzymes-industry>>. Acesso em: 05 de mar. de 2022.

FERREIRA, Catia Borges et al. Associação de carboidrases e fitase em dietas valorizadas e seus efeitos sobre desempenho e qualidade dos ovos de poedeiras leves. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 67, p. 249-254, 2015.

FORTES, Bruno Duarte Alves et al. Avaliação de programas nutricionais com a utilização de carboidrases e fitase em rações de frangos de corte. 2012.

GARG, G.; SEHRAWAT, N.; YADAV, M. Role of Enzymes in Food Industries. *Frontiers in Food Biotechnology*. In: SHARMA, C., SHARMA A. K., ANEJA, K. R. *Frontiers in Food Biotechnology*, 1ª ed. New York: Nova Publishers, 2016. cap. 9, p. 219-252.

Historical Introduction, **Nomenclature Committee of the International Union of Biochemistry and Molecular Biology (NC-IUBMB)**, 2014 <<https://iubmb.qmul.ac.uk/enzyme/history.html#:~:text=Th>

e%20International%20Commission%20on%20Enzymes,A. E>. Acesso em: 09 de mar. de 2022.

INDUSTRIAL enzymes market by type (carbohydrases, proteases, non-starch polysaccharides & others), application (food & beverage, cleaning agents, animal feed & others), brands & by region—global trends and forecasts to 2020. **BCC Research**, 2015. Disponível em: <<http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/industrial-enzymes-market-237327836.html>>. Acesso em: 07 de mar. de 2022.

JAEGER, Karl-Erich; EGGERT, Thorsten. Lipases for biotechnology. **Current opinion in biotechnology**, v. 13, n. 4, p. 390-397, 2002.

LI, Cen et al. Developing *Aspergillus niger* as a cell factory for food enzyme production. **Biotechnology Advances**, v. 44, p. 107630, 2020.

MARTARELLO, Raquel Dall'Agnol et al. Optimization and partial purification of beta-galactosidase production by *Aspergillus niger* isolated from Brazilian soils using soybean residue. **AMB Express**, v. 9, n. 1, p. 1-13, 2019.

MARZOCCO, Anita; TORRES, Bayardo Baptista. **Bioquímica Básica**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2015. 4 ed.

MENDES, Adriano Aguiar et al. Aplicação de lipases no tratamento de águas residuárias com elevados teores de lipídeos. **Química Nova**, v. 28, n. 2, p. 296-305, 2005.

MISTURA de enzimas mostrou alto desempenho para gerar etanol a partir de bagaço de cana. **EMBRAPA – Notícias**, 2020. Disponível em: <[MONTEIRO, Valdirene Neves; DO NASCIMENTO SILVA, Roberto. Aplicações industriais da biotecnologia enzimática. **Revista processos químicos**, v. 3, n. 5, p. 9-23, 2009.](https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/52639673/mistura-de-enzimas-mostrou-alto-desempenho-para-gerar-etanol-a-partir-de-bagaco-de-cana#:~:text=O%20mercado%20bilion%C3%A1rio%20de%20enzimas,-A%20globaliza%C3%A7%C3%A3o%20e&text=2%25%20no%20per%C3%ADodo.O%20mercado%20mundial%20de%20enzimas%20para%20biocombust%C3%ADveis%20foi%20avaliado%20em.(BCC%20Research%2C%202015).>. Acesso em: 08 de mar. de 2022.</p></div><div data-bbox=)

NELSON, David L.; COX, Michael M. **Princípios de bioquímica de Lehninger**. Porto Alegre: Artmed, 2011. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2014.

PANESAR, P. S.; KUMARI, S.; PANESAR, R. Potential Applications of Immobilized β -Galactosidase in Food Processing Industries. **Enzyme Research**, v. 2010, 2010

PAULA, Filipe Araujo de. Enzimas alginato-liases: uma alternativa “não-antibiótica” no combate a biofilmes microbianos. **Salão de Iniciação Científica (19.: 2007: Porto Alegre, RS). Livro de resumos. Porto Alegre: UFRGS, 2007.**, 2007.

QUEIROZ, Cibele; DE SOUSA, Adna Cristina Barbosa. Produção de enzimas hidrolíticas por fungos filamentosos

em diferentes substratos sólidos. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 51849-51860, 2020.

SAFE – Soluções em saúde, segurança do trabalho e meio ambiente, **Blog SAFE ssf**, 2021. Disponível em: <<https://blog.safesst.com.br/industria-e-meio-ambiente-quais-os-impactos/#:~:text=Entre%20todas%20as%20ind%C3%BAstrias%20respons%C3%A1veis,de%20petr%C3%B3leo%20lidera%20o%20ranking>>. Acesso em: 01 de mar. de 2022.

SINGH, Rajendra et al. Microbial enzymes: industrial progress in 21st century. **3 Biotech**, v. 6, n. 2, p. 1-15, 2016.

SOUZA, Livia TA et al. Imobilização enzimática: princípios fundamentais e tipos de suporte. 2017.

SPONCHIADO, Sandra Regina Pombeiro et al. Método de cultivo de fungos filamentosos para aumentar a produção de enzimas celulolíticas. 2020.

SULYMAN, A. O.; IGUNNU, A.; MALOMO, S. O. Isolation, purification and characterization of cellulase produced by *Aspergillus niger* cultured on *Arachis hypogaea* shells. **Heliyon**, v. 6, n. 12, p. e05668, 2020.

TEIXEIRA, Iris S.; MILAGRE, Cintia DF. Evolução dirigida de enzimas: pequenas modificações, melhores biocatalisadores. **Química Nova**, v. 43, p. 773-786, 2020.

THE industry creating a third of the world's waste. **BBC Future**, Londres, 15 de dez. de 2021. Disponível em: <<https://www.bbc.com/future/article/20211215-the-buildings-made-from-rubbish>>. Acesso em: 08 de mar. de 2022.

TONOLLI, Paulo Newton; FRANCO, Fernando Faria; SILVA, Antônio Fernando Gouvêa. A construção histórica do conceito de enzima e sua abordagem em livros didáticos de biologia. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, v. 28, p. 727-744, 2021.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. A replicação do DNA. In: **EDisciplinas - Biologia Molecular**. São Paulo: USP, 2017.

VOGEL, Andreas; MAY, Oliver (Ed.). **Industrial enzyme applications**. John Wiley & Sons, 2019.

WANDERLEY, Marcel Duarte; NEVES, Etney; ANDRADE, Cristiano José de. Aspectos da produção industrial de enzimas. **Revista Citino**, v. 1, n. 1, p. 44-50, 2011.