

Uso de resíduos agroindustriais na Biocatálise

Use of agroindustrial waste in Biocatalysis

Alan Rozendo Campos da Silva

Universidade Tiradentes (UNIT), Aracaju _Sergipe
<http://lattes.cnpq.br/9816293531197899>

Carlos Eduardo Maynard Santana

Universidade Tiradentes (UNIT), Aracaju _Sergipe
<http://lattes.cnpq.br/5477146016504217>

César de Almeida Rodrigues

Universidade Tiradentes (UNIT), Aracaju _Sergipe
<http://lattes.cnpq.br/3786189771276778>

Jefferson Cleriston Barros dos Santos

Universidade Tiradentes (UNIT), Aracaju _Sergipe
<http://lattes.cnpq.br/5334199068654689>

Thailan Souza Pereira Lima

Universidade Tiradentes (UNIT), Aracaju _Sergipe
<http://lattes.cnpq.br/6949307009364327>

Armando Almeida dos Santos Neto

Universidade Tiradentes (UNIT), Aracaju _Sergipe
<http://lattes.cnpq.br/5677513025735624>

Filipe Smith Buarque

Universidade Tiradentes (UNIT), Aracaju _Sergipe
<http://lattes.cnpq.br/7109015460917484>

Tamara Stela Mendonça Azevedo

Universidade Tiradentes (UNIT), Aracaju _Sergipe
<http://lattes.cnpq.br/3452770723455288>

Clécio Danilo Dias da Silva

Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).
<http://lattes.cnpq.br/4235157508528733>

Lays Carvalho de Almeida

Universidade Tiradentes (UNIT), Aracaju _Sergipe
<http://lattes.cnpq.br/7593996891211547>

DOI: 10.47573/aya.5379.2.56.2

RESUMO

Em diversos processos agroindustriais, existe como parte da produção, a geração de resíduos que representam perdas econômicas no processo produtivo e que, se não receberem destinação adequada, geram impactos ambientais negativos. Entretanto, esses resíduos gerados ao longo da cadeia produtiva podem ainda conter muitas substâncias de alto valor. Desta forma, o objetivo desse trabalho é apresentar potenciais aplicações desses resíduos em processos da biocatálise, através de uma revisão bibliográfica mostrando os diferentes usos, como na produção de biocatalisadores ou como suporte para imobilização de enzimas. Assim, aumenta a viabilidade dos processos biocatalíticos e contribui para uma economia circular e sustentável.

Palavras-chave: resíduo agroindustrial. biocatálise. enzimas.

ABSTRACT

In several agro-industrial processes there is, as part of the production, the generation of wastes that represent economic losses in the production process and, if not properly disposed of, it causes negative environmental impacts. However, these wastes generated along the production chain can still contain many high-value substances. Thus, the objective of this work is to present potential applications these residues in biocatalysis processes, through a literature review, showing the different uses, such as the production of biocatalysts or as support for enzyme immobilization. Thus, increasing the viability of biocatalytic processes and contributing to a more circular and sustainable economy.

Keywords: agro-industrial waste. Biocatalysis, enzymes.

INTRODUÇÃO

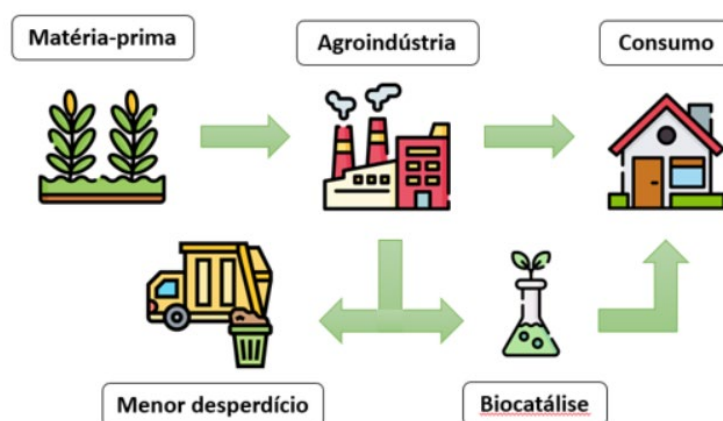
Processos mais sustentáveis deixaram de ser apenas uma opção ecológica, para se tornarem uma estratégia econômica moderna, visando a manutenção e preservação dos recursos ambientais existentes (FERREIRA-LEITÃO *et al.*, 2017). Além disso, a natureza finita dos recursos ambientais e a destinação inadequada de resíduos, têm mostrado que novos passos precisam ser dados na direção de uma bioeconomia circular, a qual a produção industrial deve ser projetada para maximizar a utilização dos insumos e, otimizar a reutilização dos resíduos gerados, para que possam ser aplicados como matéria-prima para outros componentes (KEIJER *et al.*, 2019; UBANDO *et al.*, 2020).

Atividades agroindustriais, por exemplo, geram uma grande quantidade de resíduos todo ano, que se não tratados de forma adequada, podem contribuir com diversos problemas ambientais, como poluição e aumento de gases do efeito estufa (SADH *et al.*, 2018). O Brasil é um importante produtor de resíduos agrícolas e agroindustriais, considerados viáveis e sustentáveis no contexto de biorrefinaria. Logo, devido à riqueza de componentes bioativos, esses resíduos, líquidos e sólidos, podem ser valorizados e aplicados em diferentes áreas industriais, se tornando uma matéria prima de baixo custo e de alta disponibilidade, reduzindo os impactos ambientais (KEIJER *et al.*, 2019).

Nos últimos anos, diversas tecnologias ecológicas e econômicas têm sido desenvolvidas em nível industrial quanto acadêmico. Nesse contexto, a catálise enzimática tem sido estudada e aplicada em diferentes processos industriais a mais de 50 anos, se encaixando nos princípios da química verde. As enzimas são catalisadores biológicos não tóxicos, biodegradáveis, altamente específicos e operam sob condições brandas de temperatura e pressão, o que diminui a geração de subprodutos e a degradação do meio ambiente (BLAMEY *et al.*, 2017; SHELDON *et al.*, 2019).

A partir desse contexto, diversos autores têm estudado a aplicação desses resíduos agroindustriais na biocatálise, seja como matéria-prima para produção dos biocatalisadores, ou como suporte em processos de imobilização enzimática, visando a redução simultânea dos custos dos processos e contribuindo para o desenvolvimento de uma bioeconomia circular (Figura 1).

Figura 1 - Representação da cadeia produtiva com o emprego de resíduos agroindustriais na biocatálise



Deste modo, as biorrefinarias têm se tornado uma estratégia no desenvolvimento de novos processos integrados para a conversão de resíduos agroindustriais em produtos de valor agregado, fornecendo, assim, uma maneira viável de gerenciar problemas de resíduos, visando ao mesmo tempo gerar um crescimento econômico sustentável dentro de uma perspectiva de bioeconomia (UBANDO *et al.*, 2020).

PRODUÇÃO DE BIOCATALISADORES

A produção dos biocatalisadores é realizada por meio de fermentação que pode ocorrer em estado sólido (SSF – Solid-state fermentation) ou em estado líquido (SmF – Submerged fermentation), a depender da natureza do resíduo utilizado. Resíduos líquidos (como pulp-wash, manipuera e melaço) ou sólidos (como cascas, tortas de óleo, farelos e sementes) são empregados como uma alternativa de substrato para os processos de fermentação para produção de diferentes enzimas (Tabela 1).

Tabela 1- Produção de biocatalisadores utilizando resíduos agroindustriais como substrato

Enzima	Microorganismo	Substrato	Referência
Amilase	Aspergillus tamaris (UCP-1261)	Cascas de batata e mandioca	FONSECA et al., 2019
	Penicillium sp	Farelo de arroz	ARORA et al., 2019
Celulase/Xilanase	Aspergillus flavus	Palha de arroz	SINGH et al., 2021
	Aspergillus niger (MTCC-872)	Cascas de arroz e gandu; torta de semente de algodão	NEMA et al., 2019
	Yarrowia lipolytica	Tegumento de manga	PEREIRA et al., 2019
Pectinase	Penicillium roqueforti (ATC-10110)	Farelo de cacau	ARAUJO et al., 2021
	Aspergillus spp. (LEMI-15)	Casca de café e manipuera	REGO et al., 2019
Protease	Aspergillus terreus (SH-72)	Melaço; malte; folhas de banana e bambu; farelo de trigo; torta de gergelim, semente de coco e nozes	SHARMA e BAJAJ, 2021
Lacase/Manganês Peroxidase	Pleurotus sajor-caju (CCB-020)	Vinhaça da cana-de-açúcar	VILAR et al., 2018
		Pulp-wash da laranja	CRUZ et al., 2020

Em geral, os processos SSF são mais baratos e o substrato pode ser fermentado por um longo período, semelhante ao que ocorre na natureza, logo sua confiabilidade é acentuada. Neste processo é comum que o microrganismo se desenvolva na superfície do meio (TEIGISE-ROVA *et al.*, 2021). Porém, são mais adequados para fungos e microrganismos que necessitam de menor teor de umidade devido a mínima presença de água durante a catálise.

Por outro lado, os processos SmF são mais adequados para bactérias e fungos filamentosos em decorrência do maior teor de umidade que esses processos solicitam. Em soma, a fermentação submersa apresenta uma facilidade nas etapas de downstream (extração e purificação) das biomoléculas de interesse, principalmente ao visar o seu escalonamento por também possuir maior facilidade no controle de parâmetros operacionais como temperatura, pH e agitação. É observado durante este processo uma alta produção enzimática por consequência da melhor homogeneização entre os nutrientes solúveis no substrato e o microrganismo produtor (SINGH *et al.*, 2021). Entretanto, requerem um maior volume de substrato, já que o processo ocorre sob fluxo contínuo (SUBRAMANIYAM e VIMALA, 2012).

Em sua pesquisa, LIU *et al.* (2021) comparou os métodos fermentativos (SSF e SmF) na produção de enzimas modificadoras de lignina do fungo *Phanerochaete chrysosporium* em substrato de palha de milho em pó. Foi possível detectar 110 e 64 enzimas extracelulares ativas em SSF e SmF respectivamente, sendo 57 comuns entre os processos. No entanto, por mais que a atividade em SmF tenha sido menor, essas conseguiram realizar uma degradação do substrato em baixas concentrações, diferente ao observado em SSF, tal fato evidencia a qualidade da biomolécula produzida.

Os processos de biocatálise tendem a ser mais confiáveis quando se definem parâmetros físicos e químicos como pH, temperatura, aeração, nível de oxigênio dissolvido, agitação etc. O controle de tais variáveis é de suma importância, principalmente quando o substrato é um resíduo industrial, o qual pode conter uma pluralidade de compostos inibidores e assim é possível contornar adversidades e consequentemente garantir uma alta taxa de produção da biomolécula alvo (REIHANI, 2019). A partir desta perspectiva, a otimização dos processos fermentativos se faz atrativa para que seja possível minimizar erros, custos monetários e tempo,

aliado ao aumento do rendimento e qualidade do composto alvo. Através de tecnologias com abordagens estatísticas é possível delinear o processo e calcular um erro experimental que seja seguro. Dentre as abordagens conhecidas a metodologia de superfície de resposta (MSR), traz uma visualização clara das condições ótimas e não adequadas de operação, oferecendo assim uma maior segurança ao usuário antes de começar o processo fermentativo (VILAR *et al.*, 2021).

SUPORTE PARA IMOBILIZAÇÃO DOS BIOCATALISADORES

O potencial do uso de resíduos agroindustriais vai além da produção de enzimas. Na atualidade já se tem reportado na literatura o uso de alguns destes subprodutos como suportes em processos de imobilização enzimática (GIRELLI *et al.*, 2020). Apesar das vantagens da biocatálise, as enzimas são catalisadores geralmente de maior custo e de difícil reutilização, por conta de sua fácil solubilidade e sensibilidade às condições de operação, como temperatura, pH, e a alguns solventes orgânicos. As estratégias mais consolidadas para superar essas limitações, envolvem técnicas de imobilização, onde as enzimas são fixadas a suportes sólidos insolúveis, que estabilizam sua estrutura proteica, e facilitam sua recuperação, possibilitando o reuso dos biocatalisadores (HOMAEI *et al.*, 2013).

Uma parte significativa dos resíduos agroindustriais consistem em biomassa lignocelulósica (alto teor de celulose, hemicelulose e lignina), cuja composição varia de acordo com a natureza do resíduo; como grãos, subprodutos de arroz e milho, fibra de coco e pó de café. Infelizmente, boa parte dessa biomassa é descartada através da queima, gerando gases que contribuem para o efeito estufa (GIRELLI *et al.*, 2020). No entanto, por serem não-tóxicos, renováveis, biodegradáveis, quimicamente estáveis e porosos, esses materiais têm sido estudados como suportes para imobilização, transformando um problema ambiental em matéria prima de baixo custo que potencializa a viabilidade dos processos biocatalíticos (LIU e CHEN, 2016).

Os métodos de imobilização enzimática convencionais são por adsorção, aprisionamento físico, ligação covalente e reticulação. A adsorção é um método de imobilização amplamente estudado na literatura e de simples aplicação que possui uma capacidade de carga enzimática maior quando comparado com outras técnicas de imobilização. Tal protocolo consiste na adesão de átomos, íons ou moléculas de um gás, líquido ou sólido dissolvido a uma região da superfície do suporte, por meio de forças de Van der Waals, ligações iônicas e/ou de hidrogênio, bem como interações hidrofóbicas, permitindo uma imobilização reversível (THANGARAJ *et al.*, 2015). Já os métodos de aprisionamento físico, ligação covalente e reticulação são classificados como métodos de imobilização irreversíveis, ou seja, que não permite a separação da enzima e suporte (HOMAEI *et al.*, 2015).

No método de ligação covalente as enzimas compartilham elétrons com a superfície do suporte através do grupo funcional amina, proporcionando fortes interações. Já no método de reticulação tem-se que a enzima realiza ligação cruzada com outra enzima ou com grupos funcionais de uma matriz insolúvel, permitindo uma interação forte sem necessidade de um suporte (GUISAN *et al.*, 2006; SIRISHA *et al.*, 2016). O aprisionamento físico se difere da ligação covalente e da reticulação, pois não vincula a enzima a matriz de gel ou membrana. Neste protocolo a enzima é “bloqueada” dentro da rede de uma matriz de polímero ou membrana, permanecendo retida enquanto permite a entrada do substrato para que a catalise da reação ocorra (THANGA-

RAJ *et al.*, 2019).

Cada uma dessas técnicas possui suas vantagens e desvantagens, dependendo da aplicação a que se destina. (RODRÍGUEZ-RETRESPO e ORREGO, 2020). De modo geral, os métodos físicos, por adsorção, são mais simples e baratos, porém mais fáceis de serem revertidos; imobilização por ligações covalentes e reticulação são mais duráveis, porém podem reduzir a atividade enzimática; aprisionamentos e microencapsulações, por sua vez, podem gerar problemas de difusão do substrato (HOMAEI *et al.*, 2013).

Os suportes orgânicos de origem vegetal recebem destaque por serem constituído por lignina, celulose e hemicelulose, como por exemplo os suportes de origem naturais: fibra de coco verde, casca de arroz, talos de milho e algodão, os quais apresentam grupos hidroxila e carbonila que possibilita a inserção de grupos funcionais. Na literatura é reportado o uso de resíduos agroindustriais como uma matriz de imobilização para amilase, invertase e lipase. Estes estudos com diferentes tipos de enzimas imobilizadas em suportes orgânicos naturais têm mostrado que os resíduos agroindustriais são uma fonte adequada de matéria-prima para suportes (BAROUNI *et al.*, 2016; UTOMO *et al.* 2019; GIRELLI *et al.*, 2021).

A Tabela 2 reúne algumas publicações de pesquisas que aplicaram resíduos agroindustriais na produção de biocatalisadores imobilizados por diferentes métodos, aplicados a diferentes bioprocessos.

O uso de resíduos como os da casca de arroz já é reportado pela literatura para obtenção de suportes para imobilização de enzimas. Nos estudos de UTOMO *et al.* (2019) tal resíduo foi utilizado para obtenção de sílica, a qual, foi aplicada para imobilização por meio de adsorção da celulase de *Trichoderma viride*. O biocatalizador imobilizado foi aplicado para hidrolisar a celulose em açúcares redutores a partir do bagaço da cana-de-açúcar, visando a obtenção de bioetanol. *Trichoderma viride* imobilizada na sílica da casca de arroz manteve atividade de 75,2% no segundo ciclo e 58,8% no terceiro ciclo, em relação ao primeiro ciclo, comprovando sua eficiência para hidrolisar o bagaço da cana-de-açúcar e potencial para ser aplicada em sistema contínuo na produção de bioetanol. D'souza e Godbole (2002) imobilizaram invertase em casca de arroz revestida com polietilenimina (PEI). A invertase foi imobilizada sob esse suporte através do método de ligação cruzada com a presença do glutaraldeído. A invertase imobilizada apresentou uma maior estabilidade térmica retendo 69 % da atividade catalítica quando comparada com a enzima livre que reteve apenas 6 % e apresentou uma boa estabilidade operacional mantendo sua atividade após 12 ciclos reacionais.

Tabela 2 - Resíduos agroindustriais aplicados à imobilização de enzimas.

Método de imobilização	Resíduo	Enzima	Aplicação	Referência
Adsorção	Sílica da casca de arroz	Celulase de <i>Trichoderma viride</i>	Produção de bioetanol	UTOMO et al., 2019
	Cereais da produção de cerveja	Lacase de <i>Trametes versicolor</i>	Remoção de corantes	GIRELLI et al., 2021
	Pó de café	Celulase de <i>Paenibacillus chitinolyticus</i>	-	BUNTIC et al., 2016
Aprisionamento físico	Serragem de madeira	Renina	Produção de queijo	BAROUNI et al., 2016
Ligação covalente	Bagasso de caju	Lipase de <i>Candida antárctica</i>	Produção de (R)-indanol	DE SOUZA et al., 2016
	Casca de arroz; bagasso de cana; fibra de coco verde	Lipase de <i>Candida rugosa</i>	Síntese de caprilato de isoamila	COSTA-SILVA et al., 2018
Reticulação	Fibra de dendê	Lipase de <i>Burkholderia cepacia</i>	-	ALVES et al., 2020
	Casca de milho	Lipase de <i>Candida rugosa</i>	-	NURALIYAH et al., 2018

A técnica de imobilização por ligação covalente foi aplicada por Costa-Silva *et al.* (2018) para imobilização da lipase de *Candida rugosa* em diferentes suportes (Casca de arroz; bagaço de cana; fibra de coco verde). O estudo mostrou que os rendimentos dos imobilizados estavam na faixa de 61,5 – 78,7%, tendo a lipase imobilizada na casca de arroz apresentado os melhores resultados, mantendo 94,1% da atividade original e uma atividade para a formação do caprilato de isoamila de 62,40 g.L⁻¹. De Souza *et al.* (2016) imobilizaram por meio de ligação covalente a lipase B da *Candida antárctica* no bagaço de caju. Segundo o estudo a enzima imobilizada apresentou 95% de rendimento de imobilização e 124% de recuperação de atividade, podendo ser aplicada por até 5 ciclos, confirmando assim que o bagaço de caju é uma excelente alternativa para imobilização e estabilização da lipase.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A mudança das cadeias produtivas lineares e convencionais por processos mais sustentáveis e circulares têm se tornado cada vez mais obrigatória, pela escassez de recursos e impactos ambientais causados pelo desperdício e má destinação dos resíduos. Assim, o crescimento dessa demanda tem gerado oportunidades para o reaproveitamento de resíduos agroindustriais, como matéria-prima renovável, em diferentes aplicações para a obtenção de novos produtos em novos processos industriais de baixo custo.

Neste cenário, a utilização de resíduos agroindustriais na obtenção e/ou em processos de imobilização de enzimas, aumenta a competitividade dos processos biocatalíticos, frente aos processos químicos convencionais. Dessa forma, a aplicação dos resíduos agroindustriais na biocatálise pode contribuir para a viabilização de processos mais sustentáveis, de menor consumo energético e menor geração de subprodutos, além da biovalorização dos resíduos que antes seria descartado no meio ambiente.

No entanto, ainda existe a necessidade de mais pesquisas, fortalecendo a base de dados, quanto à otimização dos processos e utilização em escala industrial, a fim de reduzir significativamente a quantidade de resíduos descartados, transformando-os em matéria-prima de

maior valor, seguindo os princípios da química verde e buscando a consolidação de uma economia circular.

REFERÊNCIAS

ALVES, N. R.; PEREIRA, M. M.; GIORDANO, R. L. C.; TARDIOLI, P. W.; LIMA, A. S.; SOARES, C. M. F.; SOUZA, R. L. Design for preparation of more active cross linked enzyme aggregates of Burkholderia cepacia lipase using palm fiber residue. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, v. 44, n. 1, p. 57–66, 2021.

ARAUJO, S. C.; RAMOS, M. R. M. F.; ESPÍRITO SANTO, E. L. DO; MENEZES, L. H. S. DE; CARVALHO, M. S. DE; TAVARES, I. M. DE C.; FRANCO, M.; OLIVEIRA, J. R. DE. Optimization of lipase production by *Penicillium roqueforti* ATCC 10110 through solid-state fermentation using agro-industrial residue based on a univariate analysis. *Preparative Biochemistry e Biotechnology*, p. 1–6, 2021.

ARORA, N.; KAUR, SUPREET; KAUR, SAWINDER. Use of Agro Industrial Residues for the Production of Amylase by *Penicillium* sp. for Applications in Food Industry. *Journal of Biotechnology e Biomaterials*, v. 07, n. 02, p. 1-4, 2017.

BAROUNI, E.; PETSIS, T.; KOLLIPOULOS, D.; VASILEIOU, D.; PANAS, P. Immobilized rennin in TC/SG composite in cheese production. *FOOD CHEMISTRY*, v. 200, p. 76–82, 2016.

BLAMEY, J. M.; FISCHER, F.; MEYER, H. P.; SARMIENTO, F.; ZINN, M. Enzymatic Biocatalysis in Chemical Transformations: A Promising and Emerging Field in Green Chemistry Practice. In: BRAHMACHARI, G. (Ed.). *Biotechnology of Microbial Enzymes*. Elsevier Inc., 2017. p. 347-403.

BUNTIC, A. V.; PAVLOVI, M. D.; ANTONOVI, G. Utilization of spent coffee grounds for isolation and stabilization of *Paenibacillus chitinolyticus* CKS1 cellulase by immobilization. *Heliyon*, v. 2, p. 1-17, 2016.

BRÍGIDA, A. I. S.; PINHEIRO, A. D. T.; FERREIRA, A. L. O.; PINTO, G. A. S.; GONÇALVES, L. R. B. Immobilization of *Candida Antarctica* lipase B by covalent attachment to green coconut fiber. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, v. 7, p. 136-140, 2007.

COSTA-SILVA, T. A.; CARVALHO, A. K. F.; SOUZA, C. R. F.; FREITAS, L.; DE CASTRO, H. F.; OLIVERIA, W. P. Immobilization of *Candida rugosa* lipase on eco-friendly supports by spouted-bed technology: Use in the synthesis of isoamyl caprylate. In: *International Drying Symposium*, 21., 2018, Valência. *Anais... Valência: Editorial Universitat Politècnica de València*, 2018, p. 659 – 666.

CRISTOVÃO, R. O.; TAVARES, A. P. M.; BRÍGIDA, A. I. S.; LOUREIRO, J. M.; BOAVENTURA, R. A. R.; MACEDO, E. A.; COELHO, M. A. A. Immobilization of commercial laccase onto green coconut fiber by adsorption and its application for reactive textile dyes degradation. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, v. 72, p. 6-12, 2011.

CRUZ, Y.W.G., VIEIRA, Y.A., VILAR, D.S., TORRES, N.H., AGUIAR, M.M., CAVALCANTI, E.B., AMÉRICO-PINHEIRO, J.H.P., SORIANO, R.N., BHARAGAVA, R.N., LIMA, Á.S., FERREIRA, L.F.R., 2020. Pulp wash: a new source for production of ligninolytic enzymes and biomass and its toxicological evaluation after biological treatment. *Environ. Technol.* 41, 1837–1847.

D'SOUZA, S. F.; GODBOLE, S. S. Immobilization of invertase on rice husk using polyethylenimine. *Journal of Biochemical and Biophysical Method*, v. 52, p. 59-62, 2002.

DE SOUZA, T. C.; FONSECA, T. D. S.; JESSYCA, A.; VALDEREZ, M.; ROCHA, P.; CARLOS, M.; MATTOS, D.; FERNANDEZ-LAFUENTE, R.; GONC, L. R. B.; JOSÉ, C. S. Cashew apple bagasse as a support for the immobilization of lipase B from *Candida antarctica*: Application to the chemoenzymatic production of (R)-Indanol. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*. v. 130, p. 58–69, 2016.

FERREIRA-LEITÃO, V. S.; CAMMAROTA, M. C.; AGUIEIRAS, E. C. G.; SÁ, L. R. V. DE; FERNANDEZ-LAFUENTE, R.; FREIRE, D. M. G. The protagonism of biocatalysis in green chemistry and its environmental benefits. *Catalysts*, v. 7, n. 1, p. 1-34, 2017.

FONSECA, T. C. S.; LUNA, D. C. B.; OLIVEIRA, J. F.; BANHARA, V. F.; PAIVA, J. B.; MORAIS E SOUZA, L. V.; BATISTA E SILVA, M. C. L.; SALES E SILVA, I. G.; GOMES FILHO, A. J.; CAMPOS-TAKAKI, G. M.; ALVES DA SILVA, C. A. Amylase production by *Aspergillus tamaris* (UCP 1261) through submerged fermentation using alternative media containing agro-industrial residues. In: MENDEZ-VILAS, A. (Ed.). *Exploring Microorganisms: Recent Advances in Applied Microbiology*. Brown Walker Press., 2019. p. 120-124.

GIRELLI, A. M.; ASTOLFI, M. L.; SCUTO, F. R. Agro-industrial wastes as potential carriers for enzyme immobilization: A review. *Chemosphere*, v. 244, 2020.

GIRELLI, A. M.; PAMBIANCO, E.; SCUTO, F. R. Journal of Environmental Chemical Engineering Sustainable recycling of spent grain for laccase immobilization as dyes removal tool. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 9, n. 6, 2021.

GUISAN, J. M. (Ed.). *Immobilization of enzymes and cells* (Vol. 22). Totowa, NJ: Humana Press, 2006.

HOMAEI, A. A.; SARIRI, R.; VIANELLO, F.; STEVANATO, R. Enzyme immobilization: An update. *Journal of Chemical Biology*, v. 6, n. 4, p. 185–205, 2013.

HOMAEI, A. Enzyme immobilization and its application in the food industry. *Advances in Food Biotechnology*, 9, 145-164, 2015.

KEIJER, T.; BAKKER, V.; SLOOTWEG, J. C. Circular chemistry to enable a circular economy. *Nature Chemistry*, 11, 190-195, 2019.

LIU, Y.; CHEN, J. Y. Enzyme immobilization on cellulose matrixes. *Journal of Bioactive and Compatible Polymers*, v. 31, n. 6, p. 553–567, 2016.

LIU, J.; YANG, J.; WANG, R.; *et al.* Comparative characterization of extracellular enzymes secreted by *Phanerochaete chrysosporium* during solid-state and submerged fermentation. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 152, p. 288–294, 2020.

LV, J. S.; LIUA, X.Y.; XUA, J. X.; DENG, Y. F.; WUA, Z.; WANG, Y. M.; FANA, M. F.; JIANGSU, H. Preparation and properties of adsorption material from corn stalkscore when used for enzyme immobilization and the subsequent activities of the adsorbed enzymes. *Industrial Crops and Products*, v. 50, p. 787-796, 2013.

NEMA, A.; PATNALA, S. H.; MANDARI, V.; KOTA, S.; DEVARAI, S. K. Production and optimization of lipase using *Aspergillus niger* MTCC 872 by solid-state fermentation. *Bulletin of the National Research Centre*, v. 43, n. 1, p. 68-77, 2019.

ONDUL, E.; DIZGE, N.; ALBAYRAK, N. Immobilization of *Candida antarctica* A and *Thermomyces lanuginosus* lipases on cotton terry cloth fibrils using polyethyleneimine. *Colloids and Surfaces B:*

Biointerfaces, v. 95, p. 109 - 114, 2012.

PEREIRA, A. S.; FONTES-SANT'ANA, G. C.; AMARAL, P. F. F. Mango agro-industrial wastes for lipase production from *Yarrowia lipolytica* and the potential of the fermented solid as a biocatalyst. *Food and Bioproducts Processing*, v. 115, p. 68–77, 2019.

RÊGO, A. P. B.; CUNHA, J. R. B.; SANTOS, R. S. DE ASSIS, F. G. V; LEAL, P. L. Produção de enzimas CMCase e pectinase por processo fermentativo utilizando casca de café suplementada com manipueira como substrato. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 8, n. 1, p. 104-121, 2019.

REIHANI, S. F. S.; KHOSRAVI-DARANI, K. Influencing factors on single-cell protein production by submerged fermentation: A review. *Electronic Journal of Biotechnology*, v. 37, p. 34–40, 2019. Elsevier España, S.L.U.

RODRÍGUEZ-RESTREPO, Y. A.; ORREGO, C. E. Immobilization of enzymes and cells on lignocellulosic materials. *Environmental Chemistry Letters*, v. 18, n. 3, p. 787–806, 2020.

SADH, P. K.; DUHAN, S.; DUHAN, J. S. Agro-industrial wastes and their utilization using solid state fermentation: a review. *Bioresources and Bioprocessing*, v. 5, n. 1, p. 1–15, 2018.

SHARMA, S.; BAJAJ, B. K. Valorisation of agroindustrial-residues for production of a potent thrombolytic protease from *Aspergillus terreus* SH72. *Environmental Sustainability*, p. 1-4, 2021.

SHELDON, R. A. Cleas, combi-cleas and 'smart' magnetic cleas: Biocatalysis in a bio-based economy. *Catalysts*, v. 9, n. 3, p. 1–31, 2019.

SINGH, A.; BAJAR, S.; DEVI, A.; BISHNOI, N. R. Adding value to agro-industrial waste for cellulase and xylanase production via solid-state bioconversion. *Biomass Conversion and Biorefinery*, p. 1-10, 2021.

SIRISHA, V. L., JAIN, A., e JAIN, A. Enzyme immobilization: an overview on methods, support material, and applications of immobilized enzymes. *Advances in food and nutrition research*, 79, 179-211, 2016.

SUBRAMANIYAM, R.; VIMALA, R. Solid state and submerged fermentation for the production of bioactive substances: a comparative study. *International Journal of Science and Nature*, v. 3, n. 3, p. 480-486, 2012.

TEIGISEROVA, D. A.; BOURGINE, J.; THOMSEN, M. Closing the loop of cereal waste and residues with sustainable technologies: An overview of enzyme production via fungal solid-state fermentation. *Sustainable Production and Consumption*, v. 27, p. 845–857, 2021.

TEIGISEROVA, D. A.; BOURGINE, J.; THOMSEN, M. Closing the loop of cereal waste and residues with sustainable technologies: An overview of enzyme production via fungal solid-state fermentation. *Sustainable Production and Consumption*, v. 27, p. 845–857, 2021.

THANGARAJ, B., MUNIYANDI, B., RANGANATHAN, S., e XIN, H. Functionalized magnetic nanoparticles for catalytic application—a review. *Reviews in Advanced Sciences and Engineering*, 4(2), 106-119, 2015.

UBANDO, A. T.; FELIX, C. B.; CHEN, W. H. Biorefineries in circular bioeconomy: A comprehensive review. *Bioresource Technology*, v. 299, p. 122585, 2020.

THANGARAJ, B., e SOLOMON, P. R. Immobilization of lipases—A review. Part I: Enzyme

immobilization. *ChemBioEng Reviews*, 6(5), 157-166, 2019.

VILAR, D. S.; CARVALHO, G. O.; PUPO, M. M. S.; *et al.* Vinasse degradation using *Pleurotus sajor-caju* in a combined biological – Electrochemical oxidation treatment. *Separation and Purification Technology*, v. 192, p. 287–296, 2018.

VILAR, D. S.; FERNANDES, C. D.; NASCIMENTO, V. R. S.; *et al.* Hyper-production optimization of fungal oxidative green enzymes using citrus low-cost byproduct. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 9, n. 1, 2021.

UTOMO, Y.; YUNIAWATI, N.; WONORAHARDO, S. Preliminary Study of Immobilized of Cellulase in Silica from the Rice Husk Ash to Hydrolysis Sugarcane Bagasse Preliminary Study of Immobilized of Cellulase in Silica from the Rice Husk Ash to Hydrolysis Sugarcane Bagasse. IOP Publishing, v. 276, p. 1-7, 2019.