

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
(Organizador)

ENGENHARIA QUÍMICA:

Desenvolvimento de novos
processos e produtos 3

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
(Organizador)

ENGENHARIA QUÍMICA:

Desenvolvimento de novos
processos e produtos 3

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena

Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena

Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof^o Dr^a Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará

Prof^o Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Prof^o Dr^a Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Prof^o Dr^a Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba

Prof^o Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof^o Dr^a Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Engenharia química: desenvolvimento de novos processos e produtos 3

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Maiara Ferreira
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
E57	Engenharia química: desenvolvimento de novos processos e produtos 3 / Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-0713-3 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.133222111 1. Engenharia química. I. Paniagua, Cleiseano Emanuel da Silva (Organizador). II. Título. CDD 660
Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

O e-book: “Engenharia química: Desenvolvimento de novos processos e produtos 3” é constituído por cinco capítulos de livro que investigaram: i) propriedade de óleos vegetais para a síntese de biopolímeros; ii) reaproveitamento de casca de noz-pecã no processo de imobilização de peroxidase de raiz forte; iii) biotransformação do fungo *Aspergillus flavus* frente as chalconas sintéticas e acetofenona; iv) utilização do catalisador $1\%Cu/5\%Ni/Nb_2O_5-12\%CeO_2$ empregado no processo de reforma do etanol sob vapor d’água na geração de gás hidrogênio como fonte de energia e; v)

O primeiro capítulo avaliou a influência do grau de insaturação de óleos vegetais na obtenção de biopolímeros sintetizados a partir de frutos típicos da região amazônica: Açaí, Jupati, Compadre de azeite, Patauá, Castanha-do-Pará e Pracaxi. Os resultados apontaram que o óleo de compadre de azeite e pracaxi, sendo que este último resultou apenas em resinas de alta viscosidade. O capítulo 2 investigou a capacidade de reaproveitar resíduos provenientes da casca de noz-pecã como imobilizador de peroxidase de raiz forte utilizando a adsorção e ligação covalente como metodologia, sendo obtida uma recuperação de atividade de 124,8% e 129,7%.

O capítulo 3 avaliou a potencialidade de biotransformação do fungo *Aspergillus flavus* frente às chalconas sintéticas e acetofenona. Os resultados confirmaram que o micro-organismo apresentou elevada capacidade de biorredução da dupla ligação α , β -carbonilada das chalconas existentes em seis diferentes formulações que foram confirmadas por meio dos espectros de RMN 1H .

O quarto capítulo investigou a eficiência do catalisador composto por $1\%Cu/5\%Ni/Nb_2O_5-12\%CeO_2$ no processo de reforma do etanol com vapor d’água. Os resultados demonstraram que a taxa de conversão em gás hidrogênio foi de 40%, com produção de coque em torno de 3%.

Por fim, o quinto capítulo apresentou uma revisão de literatura que demonstra a viabilidade técnica e financeira da remoção do corante Vermelho Congo, presente em efluentes têxteis, por intermédio do processo de adsorção utilizando zeólitas.

Nesta perspectiva, a Atena Editora vem trabalhando de forma a estimular e incentivar cada vez mais pesquisadores do Brasil e de outros países a publicarem seus trabalhos com garantia de qualidade e excelência em forma de livros, capítulos de livros e artigos científicos.

CAPÍTULO 1 1**INFLUÊNCIA DO GRAU DE INSATURAÇÃO DE ÓLEOS VEGETAIS DE ESPÉCIES AMAZÔNICOS NA OBTENÇÃO DE BIOPOLÍMEROS**

Caio Augusto de Almeida Canelas

João Paulo Mota Jeronimo

Tainara de Paula de Lima Lima

Joyce Kelly do Rosario da Silva

Marcele Fonseca Passos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1332221111>**CAPÍTULO 2 12****IMOBILIZAÇÃO DE PEROXIDASE DE RAIZ FORTE EM CASCA DE NOZ-PECÃ POR ADSORÇÃO FÍSICA E LIGAÇÃO COVALENTE EM MEIO ORGÂNICO**

Ani Caroline Weber

Cristiano de Aguiar Pereira

Guilherme Schwingel Henn

Sabrina Grando Cordeiro

Daniel Augusto Weber

Bruna Costa

Larissa Cima

Beatriz Fabris Bettanin

Giovana Schneider

Jéssica Samara Herek dos Santos

Elisete Maria de Freitas

Eduardo Miranda Ethur

Lucélia Hoehne

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1332221112>**CAPÍTULO 325****REAÇÃO DE BIOTRANSFORMAÇÃO DE FUNGOS ENDOFÍTICOS, UTILIZANDO O FUNGO *Aspergillus flavus*: EM BUSCA DE SUBSTÂNCIAS BIOATIVAS**

Renan Arruda da Costa

Marivaldo José Costa Corrêa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1332221113>**CAPÍTULO 437****REFORMA DO ETANOL COM VAPOR D'ÁGUA E OXIDATIVA COM O CATALISADOR 1%Cu/5%Ni/Nb₂O₅-12%CeO₂**

Laura dos Santos Costa

Marcelino Luiz Gimenes

Marcos de Souza

Isabela Dancini Pontes

Gabriel Lucas Prado Santos

Aline Domingues Gomes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1332221114>

CAPÍTULO 5	40
GERAÇÃO DE EFLUENTES CONTAMINADOS POR CORANTES TÊXTEIS E A POSSIBILIDADE DA TRATAMENTO POR ADSORÇÃO	
Mateus Gonçalves dos Santos	
Damaris Guimarães	
Paulo Henrique Leite Quintela	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.1332221115	
SOBRE O ORGANIZADOR	52
ÍNDICE REMISSIVO	53

CAPÍTULO 2

IMOBILIZAÇÃO DE PEROXIDASE DE RAIZ FORTE EM CASCA DE NOZ-PECÃ POR ADSORÇÃO FÍSICA E LIGAÇÃO COVALENTE EM MEIO ORGÂNICO

Data de aceite: 12/11/2022

Ani Caroline Weber

Universidade do Vale do Taquari
Lajeado - Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/8238624023188773>

Cristiano de Aguiar Pereira

Universidade do Vale do Taquari
Lajeado - Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/4370455437960177>

Guilherme Schwingel Henn

Universidade do Vale do Taquari
Lajeado - Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/7398704920001376>

Sabrina Grando Cordeiro

Universidade do Vale do Taquari
Lajeado - Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/2337098282279202>

Daniel Augusto Weber

Universidade do Vale do Taquari
Lajeado - Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/6003642280026432>

Bruna Costa

Universidade do Vale do Taquari
Lajeado - Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/2255574648252180>

Larissa Cima

Universidade do Vale do Taquari
Lajeado - Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/4001302865130586>

Beatriz Fabris Bettanin

Universidade do Vale do Taquari
Lajeado - Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/3787746206567154>

Giovana Schneider

Universidade do Vale do Taquari
Lajeado - Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/4269473693605873>

Jéssica Samara Herek dos Santos

Universidade do Vale do Taquari
Lajeado - Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/8038392775385994>

Elisete Maria de Freitas

Universidade do Vale do Taquari
Lajeado - Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/7345668866571738>

Eduardo Miranda Ethur

Universidade do Vale do Taquari
Lajeado - Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/0536800052883688>

Lucélia Hoehne

Universidade do Vale do Taquari
Lajeado - Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/1088266827926373>

RESUMO: A noz-pecã é um fruto seco, cultivada no Brasil principalmente na região sul. Em 2020, a produção brasileira de noz-pecã foi de cerca de 4,1 milhões de toneladas, das quais cerca de 50% correspondem à casca do fruto, resultando em um valor considerável de resíduo agroindustrial, que em grande parte dos casos é descartado em aterros devido ao seu baixo valor agregado. Visando o reaproveitamento da casca de noz-pecã (CNP), o presente estudo tem como objetivo avaliar a imobilização de peroxidase de raiz forte (HRP) em casca de noz-pecã (CNP), através de duas metodologias diferentes: adsorção física e ligação covalente. Para isto, empregou-se três granulometrias de CNP diferentes (32, 35 e 100 MESH), sendo a imobilização realizada em meio orgânico (hexano). Para a imobilização por ligação covalente, tratou-se previamente a CNP com NaOH, e ainda avaliou-se a influência da ativação do suporte com glutaraldeído. A fim de verificar o desempenho da imobilização conforme cada tratamento empregado, avaliou-se o rendimento, eficiência e a recuperação da atividade enzimática. Verificou-se que na imobilização por adsorção física, as CNP com granulometria de 35 e 100 MESH apresentaram recuperação de atividade de 115,4% e 124,8%, respectivamente. Para a imobilização por ligação covalente, a CNP/NaOH-100 e CNP/NaOH-G100 apresentaram os melhores resultados, com uma recuperação de 126,7% e 129,7%, respectivamente, indicando um favorecimento da atividade catalítica enzimática provocado pela imobilização. Assim, há um indicativo de que para ambas as metodologias de imobilização empregadas, quanto menor o tamanho da partícula empregada, melhor o desempenho da imobilização. Por fim, pode-se concluir que é possível imobilizar a HRP em CNP em meio orgânico, porém mais estudos envolvendo a avaliação da HRP imobilizada em CNP se fazem necessários para verificar a viabilidade de sua aplicação em grande escala.

PALAVRAS-CHAVE: Casca de noz-pecã; imobilização; peroxidase de raiz forte.

ABSTRACT: Pecan is a dried fruit, cultivated in Brazil mainly in the southern region. In 2020, Brazilian production of pecans was about 4.1 million tons, of which about 50% correspond to the fruit shell, resulting in a considerable amount of agro-industrial waste, which in most cases is discarded in landfills due to its low added value. Aiming at the reuse of pecan nut shell (CNP), the present study aims to evaluate the immobilization of horseradish peroxidase (HRP) in pecan nut shell (CNP), through two different methodologies: physical adsorption and binding covalent. For this, three different CNP granulometries (32, 35 and 100 MESH) were used, and immobilization was carried out in an organic medium (hexane). For the immobilization by covalent bond, the CNP was previously treated with NaOH, and the influence of the activation of the support with glutaraldehyde was also evaluated. In order to verify the immobilization performance according to each treatment used, the yield, efficiency and recovery of enzymatic activity were evaluated. It was found that in the immobilization by physical adsorption, the CNP with granulometry of 35 and 100 MESH showed activity recovery of 115.4% and 124.8%, respectively. For immobilization by covalent bond, CNP/NaOH-100 and CNP/NaOH-G100 presented the best results, with a recovery of 126.7% and 129.7%, respectively, indicating a favoring of the enzymatic catalytic activity caused by the immobilization. Thus, there is an indication that for both methods of immobilization used, the smaller the particle size used, the better the immobilization performance. Finally, it can be concluded that it is possible to immobilize HRP in CNP in an organic medium, but more studies involving the evaluation of HRP immobilized in CNP are necessary to verify the feasibility of its application on a large

scale.

KEYWORDS: Pecan shell; immobilization; horseradish peroxidase.

1 | INTRODUÇÃO

A noz-pecã é um fruto seco de uma planta arbórea conhecida popularmente como nogueira-pecã (*Carya Illinoensis*), pertencente à família das Juglandaceae e nativa do sul do Estado Unidos e norte do México (MACIEL et al., 2020). O cultivo da planta no Brasil começou no início do século XX, trazida por imigrantes estadunidenses que se estabeleceram no estado de São Paulo (ROVANI; WOLLMANN, 2018). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), a produção anual brasileira de noz-pecã em 2020 foi de 4,1 milhões de toneladas, sendo o estado do Rio Grande do Sul o maior produtor, seguido pelos estados do Paraná e Santa Catarina.

O processamento industrial da noz-pecã possui elevada geração de resíduos, uma vez que a casca do fruto representa aproximadamente 50,0% da massa total. A casca da noz-pecã (CNP) é composta, em média, por 9,0 a 26,0% de hemicelulose, 30,0 a 33,0% de celulose, 41,0 a 48,3% de lignina e 15,0% de outros compostos, como fenóis, flavonoides e taninos (ENGEL et al, 2020; ANDRADE; PIAZZA; POLLETO, 2021). Comumente, a CNP acaba por ser descartada em aterros, e visando o seu reaproveitamento, pesquisas visando sua empregabilidade no tratamento de água, produção de bioenergia e biocombustível vêm sendo realizadas (MARTÍNEZ-CASILLAS et al, 2019; MUMBACH et al, 2022).

Dentre as inúmeras possibilidades de reaproveitamento de resíduos agroindustriais, está a utilização como suportes para a imobilização enzimática, permitindo benefícios econômicos significativos e uma redução dos problemas de disposição de resíduos (GIRELLI; ASTOLFI; SCUTO, 2020). Comumente, para a empregabilidade de resíduos lignocelulósicos como suportes enzimáticos, faz-se necessária a realização de um pré-tratamento alcalino, cuja a função é a deslignificação, hidrólise incompleta da hemicelulose, descristalização e diminuição da polimerização da celulose, aumento da superfície de contato e da porosidade (THAKUR et al, 2020).

As enzimas são excelentes biocatalisadores naturais, apresentando como principal vantagem a alta seletividade. No entanto, elas podem ser desativadas facilmente por mudanças de temperatura, pH ou presença de determinados íons e solventes orgânicos (ALMULAIKY et al, 2019; SHELDON; BRANDY; BODE, 2020). Logo, uma maneira para diminuir essas desvantagens, é a imobilização enzimática em um substrato inerte, como a CNP, contribuindo para a manutenção da estabilidade e promovendo a reutilização da enzima (XIE et al, 2019; VERMA et al, 2020). Dentre os diferentes tipos de enzimas, a peroxidase de raiz forte (*Horseradish Peroxidase* - HRP) possui destaque por pertencer à classe das oxidoredutases, as quais utilizam comumente uma fonte de peróxido comceptor de elétrons, catalisando a reação de oxidação em diversos substratos orgânicos

e inorgânicos (HAAS, 2019), sendo empregadas no processamento de alimentos, biossensores, degradação de compostos fenólicos e corantes (EL-NAGGAR et al., 2021).

Diferentes processos de imobilização enzimática podem ser empregadas, como por exemplo, a adsorção física e a ligação covalente (BASSO; SERBAN, 2019). A adsorção física consiste na união entre a molécula enzimática e um suporte inerte por meio de ligações hidrogênio, forças de Van der Waals e interações hidrofóbicas. Para que a imobilização por adsorção seja eficiente, deve-se haver uma afinidade entre a enzima e o suporte, garantida por meio da presença de grupos ativos específicos no suporte (JESIONOWSKI; ZDARTA; KRAJEWSKA, 2014; NGUYEN; KIM, 2017). Na formação de ligações covalentes, a enzima é ligada ao suporte por intermédio de ligações químicas covalentes, comumente estabelecidas entre os aminogrupos primários e o anel fenólico dos aminoácidos constituintes da enzima com os grupos reativos do suporte utilizado. Dentre as vantagens fornecidas pela imobilização covalente está a baixa lixiviação da enzima e melhora da estabilidade enzimática (LIMA et al., 2001; NGUYEN; KIM, 2017; RODRÍGUEZ-RESTREPO; ORREGO, 2020). Comumente, agentes ativadores, como o glutaraldeído, podem ser empregados para a imobilização por ligação covalente, atuando como um espaçador e facilitando a atividade catalítica (ANDRADES et al, 2019).

Desta forma, visando o reaproveitamento da CNP e os benefícios conferidos às enzimas devido a imobilização enzimática, este trabalho tem como objetivo avaliar a imobilização da HRP em CNP através de duas metodologias distintas: adsorção física e ligação covalente, em meio orgânico.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

A enzima peroxidase de raiz forte (HRP) (CAS 9003-99-0, 77332, pó liofilizado, 40 kDa, 173 U/mg), glutaraldeído 50% (v/v) e aminopropiltriétoxissilano (APTS) foram adquiridos da Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA). O fosfato de sódio dibásico anidro P.A. (Na_2HPO_4) foi adquirido da Vetec Química (RJ, Brasil), o ácido orto-fosfórico (H_3PO_4) 85% P.A. da Nuclear (SP, Brasil), o hidróxido de sódio (NaOH) P.A. da Êxodo Científica (SP, Brasil), o guaiacol ($\text{C}_7\text{H}_8\text{O}_2$) da Neon (SP, Brasil) e o peróxido de hidrogênio 30% (H_2O_2) da Química Moderna (SP, Brasil). A casca de noz-pecã (CNP) foi gentilmente doada pela empresa Nozes Pitol Ltda, localizada em Anta Gorda, Rio Grande do Sul, Brasil.

2.2 Pré-tratamento do suporte orgânico

Primeiramente, a CNP foi coletada junto a empresa cedente, transportada em temperatura ambiente e triturada em liquidificador industrial. Após, a CNP foi lavada com água deionizada e seca a 60 °C até se obter um valor de massa constante. Para a imobilização por adsorção, procedeu-se com a classificação do tamanho de partículas, por

meio de um conjunto de peneiras, separando-se as frações retidas nas peneiras -28 +32 (CNP32), -32 +35 (CNP35) e -80 +100 (CNP100) MESH, visando-se verificar a influência do tamanho de partícula na imobilização.

Para a imobilização por ligação covalente, fez-se o tratamento do suporte conforme metodologia adaptada de Borsoi et al. (2019). Para isto, transferiu-se 20 g de CNP seca para um erlenmeyer, adicionou-se NaOH 10% na proporção 1:20 (CNP:NaOH 10%), aqueceu-se a 50 °C em chapa magnética com agitação mecânica e manteve-se nestas condições por 90 minutos. Transcorrido o tempo necessário, fez-se a lavagem da CNP utilizando-se água deionizada até neutralização do pH e secou-se em estufa a 60 °C por 24 horas. Então, fez-se a classificação granulométrica das partículas de CNP tratadas e secas, coletando-se as frações retidas nas peneiras -28 +32 (CNP/NaOH32), -32 +35 (CNP/NaOH35) e -80 +100 (CNP/NaOH100) MESH.

2.3 Ativação da CNP com glutaraldeído

Para a ativação do suporte com glutaraldeído, utilizou-se a metodologia adaptada de Rigo et al. (2021). Assim, separou-se 1 g de cada suporte (CNP/NaOH32, CNP/NaOH35 e CNP/NaOH100), adicionou-se 10 mL de solução de glutaraldeído 2,5% e agitou-se em chapa magnética à temperatura ambiente por 2 horas. Então, filtrou-se e lavou-se três vezes com água deionizada e secou-se em estufa a 60 °C até a massa constante. Após a ativação com glutaraldeído, os suportes foram denominados de CNP/NaOH-G32, CNP/NaOH-G35 e CNP/NaOH-G100.

2.4 Atividade enzimática

Para a determinação da atividade enzimática seguiu-se a metodologia adaptada de Queiroz et al. (2018), utilizando-se como substrato o guaiacol. Deste modo, em uma cubeta adicionou-se 2,7 mL de tampão fosfato de sódio 0,1 M pH 6,0, 0,1 mL de H₂O₂ 0,01 M, 0,1 mL de guaiacol 0,1 M e 0,1 mL de solução enzimática ou 0,05 g de suporte/enzima imobilizada. A absorvância do tetraguaiacol formado foi verificada após 1 min de reação a 470 nm em Espectrofotômetro de Absorção Molecular na região do Ultravioleta-Visível (UV-Vis) (Genesys 10S, Thermo Scientific, USA). Para o branco, substituiu-se a solução enzimática por tampão. Para o cálculo da atividade enzimática, utilizou-se a Equação 1, onde uma unidade de atividade enzimática (U) corresponde a quantidade de enzima necessária para catalisar a transformação de 1 μmol de guaiacol por minuto.

$$\text{Atividade enzimática (U/mL)} = \frac{(Abs(t) - Abs(0)) * V_{total} * 1000}{\epsilon * V_{enzima} * t} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde $Abs(t)$ corresponde à absorvância verificada após 1 minuto, $Abs(0)$ a absorvância no tempo 0, V_{total} ao volume total de solução na cubeta (3 mL), ϵ corresponde ao coeficiente de absorvância molar do guaiacol (26600 L/mol*cm), V_{enzima} corresponde ao volume (mL) de solução enzimática adicionada à cubeta e t ao tempo (min) transcorrido.

2.5 Imobilização enzimática

Para a imobilização enzimática seguiu-se a metodologia proposta por Queiroz et al. (2018) e Rigo et al. (2021), com pequenas modificações. Inicialmente, preparou-se uma solução enzimática em tampão fosfato 0,1 M pH 6,0, com atividade de 4,3 U/mL. Para ambos os métodos de imobilização (adsorção física ou ligação covalente), pesou-se 100 mg de cada suporte, e transferiu-se para diferentes erlenmeyers. A cada erlenmeyer, adicionou-se 9,5 mL de hexano P.A. e agitou-se em chapa magnética por 15 minutos. Em seguida, adicionou-se 0,5 mL de solução enzimática, agitou-se à temperatura ambiente por 3 horas e então, armazenou-se em condição estática por 24 horas a 4 °C. Ao final, filtrou-se o suporte e lavou-se com três alíquotas de 20 mL de hexano. Por fim, os suportes contendo a enzima imobilizada foram postos em um dessecador por 24 horas para remover o excesso de umidade e acondicionados em tubos eppendorf (a 4 °C) até a realização dos demais ensaios.

2.6 Rendimento e eficiência de imobilização

Para a determinação do rendimento e da eficiência de imobilização, seguiu-se a metodologia proposta por Sheldon e Van Pelt (2013). O rendimento da imobilização enzimática descreve a porcentagem da atividade enzimática total da solução de enzima livre que está imobilizada, calculado conforme a Equação 2.

$$\text{Rendimento (\%)} = 100 * \frac{\text{Atividade imobilizada}}{\text{Atividade inicial}} \quad (\text{Equação 2})$$

A atividade imobilizada foi determinada por meio da verificação da atividade enzimática residual total que permanece na solução enzimática após a imobilização, ou ainda, aquela presente nas soluções remanescentes da imobilização (solução de imobilização e de lavagem), subtraída da atividade inicial total (SHELDON; VAN PELT, 2013).

A eficiência de imobilização descreve a porcentagem da enzima ligada que é observada no imobilizado, ou seja, o percentual de enzima que se manteve ativo e acessível (funcional) após a imobilização (SHELDON; VAN PELT, 2013). Assim, calculou-se a eficiência da imobilização conforme a Equação 3.

$$\text{Eficiência (\%)} = 100 * \frac{\text{Atividade observada}}{\text{Atividade imobilizada}} \quad (\text{Equação 3})$$

2.7 Recuperação da atividade

Segundo Sheldon e Van Pelt (2013), a recuperação da atividade é o rendimento da imobilização multiplicado pela eficiência da imobilização, permitindo ter-se uma ideia do sucesso do processo de imobilização total. Para calcular a recuperação da atividade, utilizou-se a Equação 4.

$$\text{Recuperação da atividade (\%)} = \frac{\text{Atividade observada}}{\text{Atividade inicial}} \quad (\text{Equação 4})$$

2.8 Análise estatística

Os resultados obtidos para cada ensaio foram submetidos à análise de variância (ANOVA) seguido do teste de Tukey com $p < 0,05$, utilizando-se o *software* PAST versão 4.03 (HAMMER, 2020).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Imobilização de HRP em CNP por adsorção física

A influência do tamanho da partícula (32, 35 e 100 MESH) na imobilização de HRP em CNP por adsorção física pode ser visualizada na Figura 1.

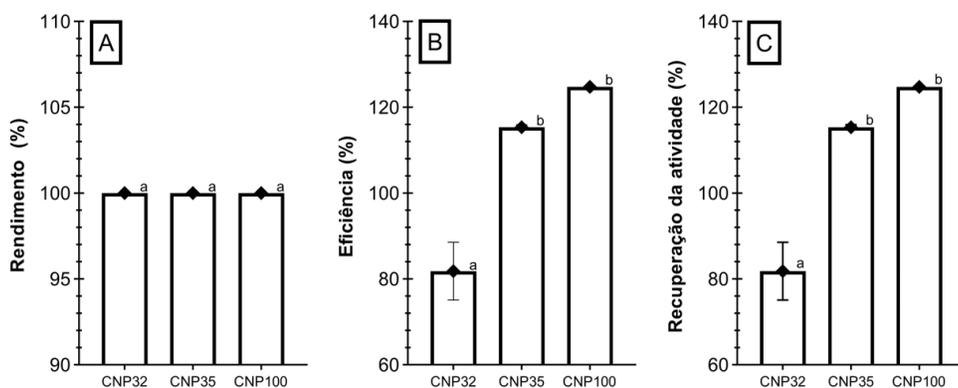


Figura 1 - Rendimento (A), eficiência (B) e recuperação da atividade enzimática (C) da imobilização de HRP em CNP com diferentes tamanhos de partículas por adsorção física

Fonte: Dos autores (2022). Letras minúsculas diferentes para um mesmo parâmetro indicam diferença estatística significativa ($p < 0,05$).

Pela Figura 1, pode-se verificar que as diferentes granulometrias da CNP não influenciaram nos valores de rendimento da imobilização, uma vez que não se verificou diferença estatística significativa entre os tratamentos. Verificou-se também que, para todas as granulometrias, o rendimento foi de 100%, ou seja, toda a enzima fornecida ao sistema foi adsorvida ao suporte. Por outro lado, nota-se que para a eficiência de imobilização, quanto menor o tamanho da partícula, maior o percentual observado. Isto se deve muito provavelmente ao fato de que reduzindo-se o tamanho da partícula, aumenta-se a área superficial de contato, permitindo-se que uma maior quantidade de enzima esteja em contato com o substrato em uma mesma massa do complexo enzima-suporte (CASTRO; MAURER; COLPONI, 2021).

Para a HRP imobilizada em CNP35 e CNP100 verificou-se uma eficiência superior a 100%, de cerca de 115,4% e 124,8%, indicando que a imobilização por adsorção física nestas condições favoreceu a atividade catalítica. A recuperação da atividade enzimática, por sua vez, refletiu os resultados verificados para a eficiência, tendo em vista que para todos os tamanhos de partícula avaliados, o rendimento foi de 100%. O desempenho de imobilização obtido no presente estudo foi superior ao verificado em outros estudos, como os de Queiroz et al. (2018), no qual a eficiência da imobilização de HRP com bagaço de cana-de-açúcar por adsorção física foi de 31,0%, de Hooda e Archita (2018), no qual a recuperação da atividade enzimática da imobilização de HRP em fibra de coco foi de cerca de 66,0% e de Silva et al. (2019), onde a recuperação foi de 72,4% para a imobilização de HRP em goma de caju.

3.2 Imobilização de HRP em CNP por ligação covalente

Na imobilização de HRP por ligação covalente em CNP verificou-se, assim como para a imobilização por adsorção física, altos percentuais de rendimento, eficiência e recuperação da atividade.

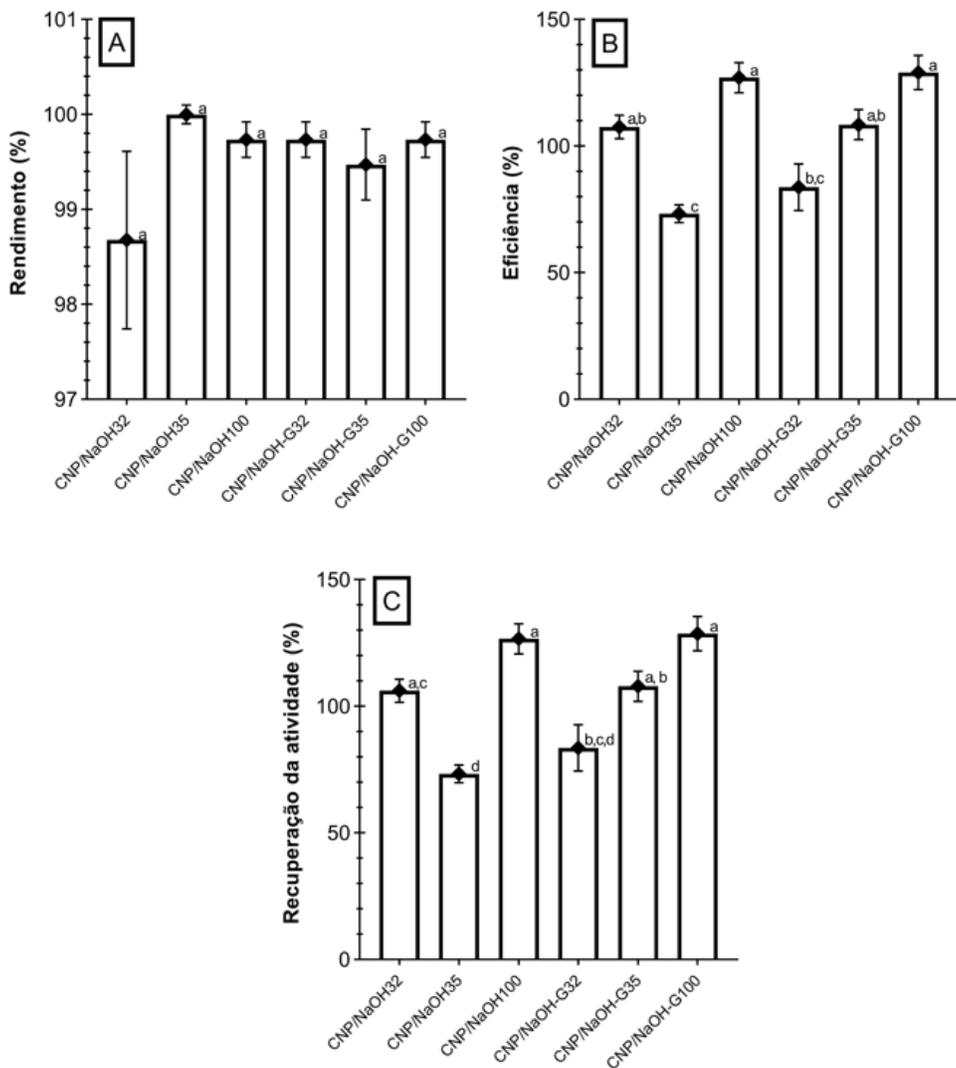


Figura 2 - Rendimento (A), eficiência (B) e recuperação da atividade enzimática (C) da imobilização de HRP em CNP por meio de ligação covalente

Fonte: Dos autores (2022). Letras minúsculas diferentes para um mesmo parâmetro indicam diferença estatística significativa ($p < 0,05$).

Verificou-se que não houve influência significativa dos diferentes tratamentos empregados na CNP com diferentes tamanhos de partículas no rendimento da imobilização (Figura 2A), uma vez que todos os percentuais obtidos apresentaram-se estatisticamente iguais, indicando que havia a presença de sítios de ligação suficientes para que toda a enzima oferecida se ligasse ao suporte.

Para a eficiência de imobilização (Figura 2B), apesar de a CNP com tamanho de partícula de -28 +32 MESH ter resultado em um decréscimo no percentual após a ativação

com glutaraldeído, esta variação não apresentou diferença estatística significativa. Já para os demais tamanhos de partículas, verificou-se um acréscimo na eficiência após a ativação do suporte com glutaraldeído, pois este contribui para uma ligação mais forte entre a enzima e o suporte, além de atuar como um espaçador, podendo facilitar a atividade catalítica (THAKUR et al, 2020). Outro ponto de destaque, foi que o tamanho da partícula influenciou na eficiência de imobilização para a CNP tratada e ativada, sendo o maior percentual obtido para a CNP/NaOH-G100, de 128,7%, havendo um favorecimento da atividade catalítica. Para a recuperação da atividade (Figura 2C), observou-se o mesmo perfil verificado para a eficiência, resultado este esperado, tendo em vista que para o rendimento não houve diferença estatística significativa entre os percentuais obtidos.

Quando comparados os resultados obtidos no presente estudo a outros estudos nos quais avaliou-se a imobilização de HRP por ligação covalente em resíduos agroindustriais, verifica-se que a CNP demonstra-se como uma alternativa promissora, uma vez que apresentou resultados superiores aos obtidos por Silva (2019) na imobilização de HRP por ligação covalente em goma de caju, onde obteve-se uma recuperação da atividade de 93,1%, aos de Hooda e Archita, que obtiveram uma recuperação de 89,0% para a imobilização em fibra de coco e aos de Queiroz et al. (2018), onde obteve-se uma eficiência enzimática de 35,0% para a imobilização de HRP em bagaço de cana-de-açúcar.

4 | CONCLUSÃO

A CNP mostrou-se como um resíduo agroindustrial com alto potencial para servir como suporte para imobilização de HRP, visto que obteve-se altos percentuais de recuperação da atividade enzimática quando comparado a outros resíduos agroindustriais encontrados na literatura. A imobilização por ligação covalente da CNP/NaOH-G100 apresentou os melhores resultados, com uma recuperação da atividade de 128,7%, seguida da CNP/NaOH, com uma recuperação de 126,7%. Entretanto, a imobilização por adsorção da CNP100 apresentou recuperação da atividade de 124,8%, demonstrando-se que ambas as formas de imobilização utilizando-se a CNP com granulometria de 100 MESH apresentam bom desempenho. Pode-se notar que, em geral, a granulometria da CNP demonstrou influenciar principalmente na eficiência de imobilização, e conseqüentemente, na recuperação da atividade. Ressalta-se que faz-se necessária a realização de mais estudos acerca da imobilização de HRP em CNP para verificação de sua viabilidade de aplicação em grande escala, uma vez que o comportamento da enzima imobilizada em diferentes condições de pH, temperatura, ciclos de reuso, dentre outros, devem ser avaliados.

REFERÊNCIAS

- ALMULAIKY, Y. Q.; EL-SHISHTAWY, R.; ALDHARI, M.; MOHAMED, S. A.; AFIFI, M.; ABDULAAL, W. H.; MAHYOUB, J. A. Amidrazone modified acrylic fabric activated with cyanuric chloride: A novel and support for horseradish peroxidase immobilization and phenol removal. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 140, n. 1, p. 949-958, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.179>. Acesso em: 20 ago. 2022.
- ANDRADE, M. P.; PIAZZA, D.; POLETTO, M. Pecan nutshell: morphological, chemical, and thermal characterization. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 13, p. 2229-2238, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.05.106>. Acesso em: 20 ago. 2022.
- ANDRADES, D.; GRAEBIN, N. G.; KADOWAKI, M. K.; AYUB, M. A. Z.; FERNANDEZ-LAFUENTE, R.; RODRIGUES, R. C. Immobilization and stabilization of different B-glucosidases using the glutaraldehyde chemistry: optimal protocol depends on the enzyme. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 129, p. 672-678, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.02.057>. Acesso em: 26 ago. 2022.
- BASSO, A.; SERBAN, S. Industrial applications of immobilized enzymes-A review. **Molecular Catalysis**, v. 479, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mcat.2019.110607>. Acesso em 26 ago. 2022.
- BORSOI, C.; HANSEN, B.; GEMMER, R. E.; DAHLEM JÚNIOR, M. A.; FRANCISQUETTI, E. L.; ZATTERA, A. J.; SANTANA, R. M. C.; CATTO, A. L. Effect of different surface treatments on polypropylene composites reinforced with yerba mate fibers: physical, mechanical, chemical, and morphological properties. **Journal of Applied Polymer**, v. 138, n. 45, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/app.51350>. Acesso em: 01 set. 2022.
- CASTRO, L. E. N.; MAURER, F.; COLPINI, L. M. S. Estudo da aplicação de bagaço de malte com adsorvente para remoção de óleo lubrificante em meio aquoso. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 12, p. 120522- 120527, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n12-698>. Acesso em: 04 set. 2022.
- EL-NAGGAR, M. E.; ABDEL-ATY, A. M.; WASSEL, A. R.; ELARABY, N. M.; MOHAMED, S. A. Immobilization of horseradish peroxidase on cationic microporus starch: Physico-bio-chemical characterization and removal of phenolic compounds. **Int. J. Biol. Macromol.**, v. 181, p. 734-742, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.03.171>. Acesso em: 20 ago. 2022.
- ENGEL, J. B.; GINITY, M. M.; LUCHESE, C. L.; TESSARO, I. C.; SPADA, J. C. Reuse of Different Agroindustrial Wastes: Pinhão and Pecan Nutshells Incorporated into Biocomposites Using Thermocompression. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 28, n. 5, p. 1431-1440, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01696-w>. Acesso em: 26 ago. 2022.
- GIRELLI, A. M.; ASTOLFI, M. L.; SCUTO, F. R. Agro-industrial wastes as potential carriers for enzyme immobilization: A review. **Chemosphere**, v. 244, n. 125368, p. 1-12, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125368>. Acesso em: 02 ago. 2022.
- HAAS, A; VAZ, C; KEMPKA, A. P. Extração e purificação de peroxidases de vegetais: uma Revisão. **Periódico Tchê Química**, v. 16, n. 31, p. 692-703, 2019. Disponível em: <https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewByFileId/898810.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2022.

HAMMER, O. **PAST: Paleontological statistics software package**. 2020

HOODA, V.; ARCHITA. Enzyme loaded chitosan/ coconut fibre/ zinc oxide nanoparticles strip for polyamine determination. **Food Chemistry**, v. 239, p. 1100-1109, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.057>. Acesso em: 28 ago. 2022.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Produção de Noz**. 2022 Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/noz/br>. Acesso em: 26 ago. 2022.

LIMA, U. A.; AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W. **Biotecnologia Industrial: processos fermentativos e enzimáticos**. São Paulo, Editora Blucher Ltda, v. 3, 2001.

MACIEL, L. G.; RIBEIRO, F. L.; TEIXEIRA, G. L.; MOLOGNONI, L.; SANTOS, J. N.; NUNES, I. L.; BLOCK, J. M. The potential of the pecan nut cake as an ingredient for the food industry. **Food Research International**, v. 127, p. 1-10, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108718>. Acesso em: 20 ago. 2022.

MARTÍNEZ-CASILLAS, D. C.; MASCORRO-GUTIÉRREZ, I.; ARREOLA-RAMOS, C. E.; VILLAFÁN-VIDALES, H. I.; ARANCIBIA-BULNES, C. A.; RAMOS-SÁNCHEZ, V. H.; CUENTAS-GALLEGOS, A. K. A sustainable approach to produce activated carbons from pecan nutshell waste for environmentally friendly supercapacitors. **Carbon**, v. 148, p. 403-412, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2019.04.017>. Acesso em: 26 ago. 2022.

MUMBACH, G. D.; ALVES, J. L. F.; SILVA, J. C. G.; DOMENICO, M. D.; ARIAS, S.; PACHECO, J. G. A.; MARANGONI, C.; MACHADO, R. A. F.; BOLZAN, A. Prospecting pecan nutshell pyrolysis as a source of bioenergy and bio-based chemicals using multicomponent kinetic modeling, thermodynamic parameters estimation, and py-GC/MS analysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 152, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111753>. Acesso em 20 ago. 2022.

NGUYEN, H. H.; KIM, M. An Overview of Techniques in Enzyme Immobilization. **Applied Science and Convergence Technology**, v. 26, n. 6, p. 157–163, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5757/ASCT.2017.26.6.157>. Acesso em: 04 set. 2022.

QUEIROZ, M. L. B.; CONCEIÇÃO, K. C.; MELO, M. N.; SÁNCHEZ, O. C.; ALVAREZ, H. M.; SOARES, C. M. F.; FRICKS, A. T. Imobilização de peroxidase de raiz forte em bagaço de cana-de-açúcar. **Quim Nova**, v. 41, n. 9, p. 1019-1024, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170279>. Acesso em 20 ago. 2022.

RIGO, D.; SANTOS, P. N. A.; FISCHER, B.; VENDRUSCOLO, M. D.; FERNANDES, I. A.; FRICKS, A. T.; DALLAGO, R. M.; ZENI, J. Covalent immobilization of lipase in residual yerba mate stick (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.). **Biointerface Research in Applied Chemistry**, v. 11, n. 6, p. 14564-14579, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.33263/BRIAC116.1456414579>. Acesso em: 30 ago. 2022.

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. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10311-020-00988-w>. Acesso em: 04 set. 2022.

ROVANI, F. F. M.; WOLLMANN, C. A. Análise sazonal e anual dos requisitos climáticos do cultivo da noqueira pecã (*Carya illinoensis*) no Rio Grande do Sul. **Geosp- Espaço e Tempo**, v. 22, n. 1, p. 191-209, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geosp.2018.122043>. Acesso em: 20 ago. 2022.

SHELDON R. A.; BRADY, D.; BODE, M. L. The hitchhiker's guide to biocatalysis recent advances in the use of enzymes in organic synthesis. **Chem. Sci.**, v. 11, p. 2587-2605, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/C9SC05746C>. Acesso em: 26 ago. 2022.

SHELDON, R. A.; VAN PELT, S. Enzyme immobilization in biocatalysis: why, what and how. **Chem. Soc. Rev.**, v. 42, n. 15, p. 6223-6235. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/C3CS60075K>. Acesso em: 31 ago. 2022.

SILVA, T. M.; BORGES, L. L.; SOUZA, E. R. B.; CARAMORI, S. S. Synthesis of immobilized biocatalysts for wastewater decontamination. **Polímeros**, v. 29, n. 4, p. 1-8, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0104-1428.08918>. Acesso em 29 ago. 2022.

THAKUR, V.; SHARMA, E.; GULERIA, A.; SANGAR, S.; SINGH, K. Modification and management of lignocellulosic waste as an ecofriendly biosorbent for the application of heavy metal ions sorption. **Materials Today: Proceedings**, v. 32, n. 4, p. 608-619, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.756>. Acesso em: 26 ago. 2022.

VERMA, M. L.; KUMAR, S.; DAS, A.; RANDHAWA, J. S.; CHAMUNDEESWARI, M. Chitin and chitosan-based support materials for enzyme immobilization and biotechnological applications. **Environmental Chemistry Letters**, v. 18, p. 315-323, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10311-019-00942-5>. Acesso em 26 ago. 2022.

XIE, X.; LUO, P.; HAN, J.; CHEN, T.; WANG, Y.; CAI, Y.; LIU, Q. Horseradish peroxidase immobilized on the magnetic composite microspherula for high catalytic ability and operational stability. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 122, p. 26-35, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2018.12.007>. Acesso em: 20 ago. 2022.

A

Açaí 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

Ácidos graxos 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10

Adsorção 12, 13, 15, 17, 18, 19, 21, 40, 42, 45, 46, 47, 48, 49, 50

Amazônia 1, 4, 9, 10, 25

Anti-inflamatória 2, 28

Antioxidantes 2, 27

Aspergillus flavus 25, 26, 28, 35

Atividade catalítica 13, 15, 19, 21

Atividade enzimática 13, 16, 17, 18, 19, 20, 21

B

Biocatalisadores 14, 27

Biopolímeros 1, 2, 3, 5, 7, 10

Bioprodutos 1, 3

Biorredução 25, 29, 31, 35

Biotransformação 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36

C

Casca da Noz-Pecã (CNP) 14

Castanha-do-Pará 1, 3, 5, 6

Catalisador 4, 8

Chalconas 25, 27, 28, 29, 33, 35, 36

Cromatografia gasosa (CG) 1, 4, 5

E

Enzimas 14, 15, 27

Epoxidação 1, 2, 3, 4, 9

Espectros de RMN ¹H 25, 29, 33, 35

F

Flavonóides 27

Fungos endofíticos 25, 26, 27

G

Granulometria 13, 21

I

Imobilização enzimática 14, 15, 17

Índice de iodo 1, 2, 4, 6, 7, 8

Indústria têxtil 40, 41, 42, 43, 44, 45, 48, 49, 50

J

Jupati 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

L

Lignina 14

M

Mesh 13, 16, 18, 20, 21

Microrganismos 25, 26, 27, 28

N

Noz-pecã 12, 13, 14, 15

O

Óleos vegetais 1, 2, 3, 6, 7, 8, 10

Oxidoredutases 14

P

Patauá 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

Peroxidase 12, 13, 14, 15, 22, 23, 24

Pracaxi 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8

Propriedades farmacológicas 27

R

Reaproveitamento 13, 14, 15

Resíduo agroindustrial 13, 21

S

Substratos 3, 14, 27, 28, 29

V

Vermelho congo 40, 44, 45, 47, 48, 49, 50

Z

Zeólitas 40, 49

🌐 www.atenaeditora.com.br
✉ contato@atenaeditora.com.br
📷 @atenaeditora
📘 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

ENGENHARIA QUÍMICA:

Desenvolvimento de novos
processos e produtos 3

🌐 www.atenaeditora.com.br
✉ contato@atenaeditora.com.br
📷 @atenaeditora
📘 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

ENGENHARIA QUÍMICA:

Desenvolvimento de novos
processos e produtos 3