

# RESSALVA

Atendendo solicitação da autora, o texto completo desta tese será disponibilizado somente a partir de 16/01/2026.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS – RIO CLARO



---

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS (BIOLOGIA  
CELULAR, MOLECULAR E MICROBIOLOGIA)

---

PRODUÇÃO DE ENZIMA CUTINASE FÚNGICA E AVALIAÇÃO NA HIDRÓLISE  
DO POLIETILENO TEREFALATO

ELAINE CRISTINA BUCIOLI

Rio Claro – SP  
2024



---

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS (BIOLOGIA  
CELULAR, MOLECULAR E MICROBIOLOGIA)**

---

**PRODUÇÃO DE ENZIMA CUTINASE FÚNGICA E AVALIAÇÃO NA HIDRÓLISE  
DO POLIETILENO TEREFALATO**

**ELAINE CRISTINA BUCIOLI**

Tese apresentada ao Instituto de Biociências do Câmpus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Ciências Biológicas (Biologia Celular, Molecular e Microbiologia).

Orientadora: Dra. Derlene Attili de Angelis

Coorientador: Dr. Michel Brienzo

|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| B921p | <p>Bucioli, Elaine Cristina</p> <p>Produção de enzima cutinase fúngica e avaliação na hidrólise do polietileno tereftalato / Elaine Cristina Bucioli. -- Rio Claro, 2024</p> <p>71 p. : tabs., fotos</p> <p>Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Rio Claro</p> <p>Orientadora: Derlene Attili de Angelis</p> <p>Coorientador: Michel Brienzo</p> <p>1. Biodegradação de polímeros. 2. Cutinase. 3. Hidrólise de polietileno tereftalato. 4. Enzimas fúngicas. I. Título.</p> |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Rio Claro



### CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO DA TESE:** PRODUÇÃO DE ENZIMA CUTINASE FÚNGICA E AVALIAÇÃO NA HIDRÓLISE DO POLIETILENO TEREFALATO

**AUTORA:** ELAINE CRISTINA BUCIOLI

**ORIENTADORA:** DERLENE ATTILI DE ANGELIS

**COORIENTADOR:** MICHEL BRIENZO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Ciências Biológicas (Biologia Celular, Molecular e Microbiologia), área: Diversidade Biológica e Biologia Ambiental pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. DERLENE ATTILI DE ANGELIS (Participação Virtual)  
Centro Pluridisciplinar de Pesquisas Químicas Biológicas e Agrícolas / Universidade Estadual de Campinas

Prof. Dr. RENATO NALLIN MONTAGNOLLI (Participação Virtual)  
Departamento de Ciências da Natureza, Matemática e Educação / UFSCar

Profa. Dra. LUCIANA FERRACINI DOS SANTOS (Participação Virtual)  
FHO / Fundação Hermínio Ometto

Profa. Dra. BÁRBARA RANI BORGES (Participação Virtual)  
Instituto de Química / Universidade de São Paulo

Rio Claro, 16 de julho de 2024

## **AGRADECIMENTOS**

A Profa. Dra. Derlene Attili de Angelis, pela oportunidade, orientação, ensinamentos, parceria, amizade e confiança.

Ao prof. Dr. Michel Brienzo, pelas orientações, contribuições e parceria.

A profa. Dra. Lusiane Malafatti Picca, pela parceria inicial neste projeto, orientações e amizade.

A profa. Dra. Maria Isabel Rodrigues pelo tempo dedicado em nos auxiliar na elaboração do Delineamento Plackett & Burman.

A profa. Dra. Valéria Maia de Oliveira por ser a ponte com a Petrobrás e também por todo incentivo e contribuições com esse trabalho.

A profa. Dra. Dejanira de Francheschi de Angelis por toda motivação e sugestões.

Ao MSc. Tulio Capelini pela prontidão de sempre em nos auxiliar com insumos, informações, sempre fornecendo apoio para que o projeto sempre caminhasse.

Ao MSc. Mateus Manabu Abe e a Dra. Caroline de Freitas por todo auxílio, discussões e orientações técnicas.

A MSc. Natalia Speltri pelo auxílio e avaliação da viabilidade microbiana, parceria e sugestões.

A graduanda Sara Moreira de Souza pelo auxílio nas análises laboratoriais, comprometimento e amizade.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Biologia Celular, Molecular e Microbiologia) e todos os docentes do Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista – Rio Claro, pela oportunidade, contribuições e todo conhecimento fornecido.

Ao IPBEN - Universidade Estadual Paulista – Rio Claro, pela disponibilidade dos laboratórios para que fossem realizadas as análises de FTIR, Cromatografia gasosa, dosagens de proteínas e atividade enzimática.

Ao CBMAI – UNICAMP Paulínia, pela disponibilidade dos laboratórios para realização de análises cromatográficas, processo de liofilização e fornecimento e avaliação genética de microrganismos.

Ao DEMA – UFSCAR, São Carlos, pelas imagens de MEV.

A Faculdade de Engenharia, Departamento de Materiais e Tecnologia - Campus de Guaratinguetá, pelos ensaios de cristalinidade.

A minha filha Daniela Caminatti, meu amor maior, pelas palavras de apoio, pelo tempo e atenção cedidos, pela responsabilidade com suas atividades, me auxiliando de diversas formas para que esse projeto fosse concluído.

A minha família, meu pai, minha querida irmã e em especial minha mãe, por todo auxílio, apoio e amor e pelo exemplo de força e superação sempre.

Ao Aroldo José Isaias de Moraes, com quem compartilho a vida, por todo incentivo, apoio e compreensão pelos momentos de ausência.

Aos amigos muito mais que especiais, pelo apoio, incentivo, pela compreensão da minha ausência e principalmente por sempre me ouvirem e estarem de alguma forma ao meu lado.

A Petrobrás pela oportunidade em participar do projeto e pelo fomento financeiro.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## Resumo

O polietileno tereftalato (PET) é um plástico com características que favorecem seu uso em embalagens de produtos alimentícios, como garrafas de refrigerantes e água, tornando rápido seu uso e descarte no meio ambiente. Diante dessa problemática, esse estudo buscou avaliar a produção da enzima cutinase por 13 linhagens de fungos, em ensaios de biodegradação em meio líquido utilizando o PET presente comercialmente em garrafas de água como principal fonte de carbono, e em meios contendo indutores. Dentre as hidrolases capazes de romper ligações ésteres, as lipases e cutinases são eficazes na despolimerização de polímeros. As cutinases, em particular, têm sido estudadas por suas características semelhantes à PETase. Bioensaios com fragmentos do polímero ocorreram em caldo de batata-dextrose (BDC) contendo três cubos (*plugs* de  $\pm 0,5 \text{ cm}^2$ ) de micélios fúngicos com 7 dias de crescimento em BDA a 28 °C. Os frascos foram incubados com agitação a 100 rpm durante 14 dias a 28 °C. A atividade da cutinase foi determinada utilizando uma adaptação do método espectrofotométrico da hidrólise do *p*-nitrofenilbutirato (*p*-NPB) a 405 nm. O isolado *Fusarium* sp CBMAI 2266 foi o que apresentou a maior atividade enzimática (0,20 U/mL) em meio utilizando fragmento de PET. A avaliação do melhor tempo de fermentação também foi realizada evidenciando 18 dias como o período de melhor produção de cutinase. Foram realizados ensaios buscando avaliar a eficiência de indutores e alguns fatores que poderiam influenciar na obtenção da enzima, sendo identificado como agentes favoráveis sendo, o farelo de trigo e palmitato de cetila, além da agitação. Os resultados encontrados nesse trabalho pelas análises de MEV, DSC, FTIR e CG-MS, após a exposição do polímero por 14 dias ao extrato enzimático bruto, sugerem que a cutinase tem ação de hidrólise química sobre sua superfície, indicando a possibilidade do uso dessa enzima na reciclagem do PET.

**Palavras-chaves:** Cutinase; Hidrólise Enzimática; MEV; FTIR; DSC.

## **Abstract**

PET is a plastic with characteristics that favor its use in food product packaging, such as soft drink and water bottles, making it quick to use and dispose of in the environment. Faced with this problem, this study sought to evaluate the production of the cutinase enzyme by 13 strains of fungi, in biodegradation tests in liquid media using PET commercially present in water bottles as the main source of carbon, and in media containing inducers. Among the hydrolases capable of breaking ester bonds, lipases and cutinases are effective in depolymerizing polymers. Cutinases, in particular, have been studied for their PETase-like characteristics. Bioassays with polymer fragments took place in potato dextrose broth (BDC) containing three fragments (+ 0.5 cm<sup>2</sup> plugs) of fungal colonies with 7 days of growth in PDA at 28 °C. The flasks were incubated with shaking at 100 rpm for 14 days at 28 °C. Cutinase activity was determined using an adaptation of the spectrophotometric method of *p*-nitrophenylbutyrate (*p*-NPB) hydrolysis at 405 nm. The isolate *Fusarium* sp CBMAI 2266 showed the highest enzymatic activity in a medium using PET fragment (0.20 U/mL). The evaluation of the best fermentation time was also carried out, showing 18 days as the period of best cutinase production. Tests were carried out seeking to evaluate the efficiency of inducers and some factors that could influence the production of the enzyme, with wheat bran and cetyl palmitate being identified as favorable agents, in addition to agitation. The results found in this work by SEM, DSC, FTIR and GC-MS analyses, after exposing the polymer for 14 days to the crude enzymatic extract, suggest that cutinase has chemical hydrolysis action on its surface, indicating the possibility of using this enzyme in PET recycling.

**Keywords:** Cutinase; Enzymatic Hydrolysis; SEM; FTIR; DSC.

## SUMÁRIO

|       |                                                                                                |    |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1     | Introdução .....                                                                               | 9  |
| 1.1   | Objetivos geral .....                                                                          | 11 |
| 1.1.1 | Objetivos específicos.....                                                                     | 11 |
| 2     | Revisão da literatura.....                                                                     | 12 |
| 2.1   | Polietileno Tereftalato - PET.....                                                             | 12 |
| 2.2   | Reciclagem do PET.....                                                                         | 14 |
| 2.2.1 | Despolimerização Microbiana do PET .....                                                       | 16 |
| 2.3   | Fungos estudados .....                                                                         | 18 |
| 2.4   | Cutinase.....                                                                                  | 20 |
| 2.5   | Estudo da influência de variáveis para obtenção de enzima .....                                | 22 |
| 3     | Materiais e métodos.....                                                                       | 24 |
| 3.1   | Microrganismos.....                                                                            | 24 |
| 3.2   | Bioensaios para obtenção da enzima cutinase.....                                               | 25 |
| 3.2.1 | Extratos enzimáticos utilizando PET no meio de cultivo .....                                   | 25 |
| 3.2.2 | Extratos enzimáticos obtidos com indutores como fonte de carbono na obtenção da cutinase ..... | 26 |
| 3.3   | Hidrólise enzimática do PET utilizando o extrato bruto .....                                   | 27 |
| 3.4   | Determinação da atividade enzimática da cutinase .....                                         | 27 |
| 3.5   | Dosagem de proteínas.....                                                                      | 28 |
| 3.6   | Estudo da influência das variáveis na produção de cutinase.....                                | 29 |
| 3.7   | Avaliação do pet e extrato enzimático após a hidrólise .....                                   | 30 |
| 3.7.1 | Espectroscopia de absorção no infravermelho com transformada de Fourier-FTIR .....             | 30 |
| 3.7.2 | Microscopia eletrônica de varredura - MEV .....                                                | 31 |
| 3.7.3 | Cromatografia gasosa GC-MS (Gas Chromatography Coupled with Mass Spectroscopy).....            | 31 |
| 3.7.4 | Cristalinidade .....                                                                           | 31 |
| 4     | Resultados e discussões .....                                                                  | 33 |
| 4.1   | Avaliação da produção de cutinase .....                                                        | 33 |
| 4.2   | Avaliação da influência do tempo no bioensaio .....                                            | 34 |
| 4.3   | Avaliação da produção de cutinase por diferentes linhagens de <i>Fusarium</i> ..               | 37 |
| 4.4   | Avaliação da produção de cutinase pelo uso de indutores .....                                  | 40 |
| 4.5   | Avaliação da influência de variáveis da produção de cutinase .....                             | 43 |
| 4.6   | Avaliação do extrato enzimático após a hidrólise do PET .....                                  | 46 |
| 4.7   | Avaliação da hidrólise enzimática nos filmes de PET .....                                      | 49 |
| 4.7.1 | FTIR.....                                                                                      | 50 |
| 4.7.2 | Microscopia eletrônica de varredura (MEV) .....                                                | 54 |
| 4.7.3 | Cristalinidade .....                                                                           | 58 |
| 5     | <b>CONCLUSÃO</b> .....                                                                         | 64 |
|       | <b>BIBLIOGRAFIA</b> .....                                                                      | 65 |

## 1 Introdução

Plásticos como o polietileno de tereftalato (PET), são imprescindíveis nos dias atuais por possuírem propriedades ótimas de manuseio, fácil processabilidade, resistência, leveza, baixo custo e flexibilidade de uso (Yoshida *et al*, 2016; Joo *et al*, 2018). Constitui um polímero sintético muito utilizado na sociedade moderna, que apresenta alta massa molecular, hidrofobicidade e alto grau de empacotamento molecular e cristalinidade, o que dificulta sua biodegradação natural (Philip *et al*., 2007; Ammala *et al*. 2011). A característica de resistência, que favorece a lenta degradabilidade dos plásticos, é considerada como uma das principais causas de problemas ambientais, principalmente devido ao destino incorreto gerando acúmulo de resíduos plásticos em aterros, comprometendo a qualidade de recursos hídricos e criando problemas de ordem social (Rochman *et al*, 2013; Joo *et al*, 2018). Muitos estudos investigam a biodegradabilidade dos plásticos com o intuito de entender esse processo e buscar microrganismos, enzimas e meios para otimizar a biodegradação e minimizar o impacto ambiental (Ghalazi *et al*, 2004; Austin *et al*, 2018; Kawai *et al*, 2019; Malafatti-Picca *et al*, 2019).

Boa parte do PET produzido no mundo é utilizado na produção de fibras têxteis, ou embalagens de bebidas e alimentos. Os filmes resultantes deste polímero são ainda utilizados nas indústrias de eletrônicos e outras embalagens (Zimmermann; Billig, 2010). Segundo a ABIPET (Associação Brasileira da Indústria do PET) 359 mil toneladas de PET foram recicladas em 2021, representando 56,4% das embalagens descartadas pelos consumidores. Em 2022 cerca de 25,6% dos resíduos plásticos pós-consumo no Brasil foram reciclados, segundo um estudo encomendado pelo Plano de Incentivo à Cadeia do Plástico (PICPlast). A reciclagem desse material para a utilização de embalagens em alimentos é realizada por meio da associação da reciclagem física e química (Macedo *et al*, 2020). Porém, a reciclagem química causa impactos ambientais poluindo principalmente os recursos hídricos e a atmosfera. Como alternativa, enzimas produzidas por microrganismos representam um processo sustentável para a reciclagem de plásticos e outros materiais (Malafatti-Picca, 2018). Apesar da característica recalcitrante do PET, várias enzimas hidrolíticas microbianas foram identificadas no seu processo de biodegradação, como hidrolases e enzimas relacionadas às lipases e carboxiesterases (Danso *et al*, 2018).

Dentre as hidrolases com capacidade para hidrolisar ésteres, as lipases e cutinases apresentam boa efetividade frente à despolimerização de PET (Anbalagan *et al.*, 2021). As cutinases (E.C. 3.1.1.74) são as que apresentam a menor molécula da família  $\alpha/\beta$  hidrolases (Adigüzel; Tunçer, 2017). Possuem grande interesse industrial, pois não sofrem interferência do cálcio, ao contrário das lipases. Atuam, por exemplo, como enzimas lipolíticas em detergentes, e no processo de tratamento da superfície de fibras têxteis, melhorando a hidrofiliabilidade de poliésteres pela hidrólise de ligações éster. Também são utilizadas nas indústrias alimentícias, na produção de frutas secas e na hidrólise do excesso de gordura em produtos lácteos. Na indústria química atuam na síntese de ésteres e produção de biodiesel (Gomes *et al.*, 2013; Adigüzel; Tunçer, 2017). As principais fontes de cutinases são microrganismos e pólen (Degani, 2015).

Dutta *et al.*, (2009) e Donelli *et al.* (2010) utilizaram cutinase proveniente de *Fusarium solani* f.sp. *pisi*, e também comprovaram a biodeterioração de filmes PET pela análise das estruturas cristalinas e amorfas do polímero. Uma hidrolase produzida por *Thermobifida fusca* e uma lipase proveniente de *Pseudomonas* sp foram estudadas na biodeterioração de amostras de PET (Muller *et al.*, 2005). A bactéria *Ideonella sakaiensis* 201-F6 foi reportada como grande produtora de enzimas capazes de biodegradar PET, favorecendo a recuperação de ácido tereftálico (Yoshida *et al.*, 2016). Contudo, fungos também possuem metabolismo capaz de produzir diversas substâncias, como enzimas e ácidos orgânicos, que favorecem a obtenção de produtos de interesses diversos (El-Enshasy, 2007).

Os fungos são biodegradadores naturais de grande variedade de substratos, sendo assim são promissores para aplicação em processos biotecnológicos ambientais e biorremediação de áreas contaminadas, substituindo processos impactantes ao meio ambiente como os físico-químicos utilizados nos tratamentos de remediação (Soares *et al.*, 2011).

Diversos estudos abordam a produção de cutinase por bioprocessos utilizando diferentes gêneros e espécies de fungos, e tipos de substratos. Macedo e Pio (2005) identificaram a linhagem de *F. oxysporum* como potencial produtor de cutinase, e para isso foi utilizado um meio contendo glicose ou cutina como fonte de carbono. Fraga (2008) também obteve produção de cutinase pelo fungo *F. oxysporum*, utilizando como fontes de carbono resíduos agrícolas como casca de soja, torta e farelo; torta de gergelim; torta de girassol; farelo de arroz; farelo de trigo; bagaço da cana-de-

açúcar e polpa cítrica. Caprara (2015) estudou a obtenção de cutinase por *Penicillium restrictum* utilizando como fonte de carbono o farelo de trigo. Kumari *et al* (2016) utilizaram cutina para a produção de cutinase por *Aspergillus* sp.e Sooksai *et al* (2019) obtiveram cutinase por meio do uso de cutina de mamão como fonte de carbono pelo *Fusarium falciforme*. Os bioensaios duraram de 3 a 7 dias à temperatura de 30°C sob rotação de 100 a 150 rpm.

O conhecimento das cutinases no processo de biodegradação do PET ainda é insuficiente. Estudos que buscam identificar linhagens para a produção desta enzima, bem como avaliar o seu potencial enzimático sobre a biodegradação desse polímero são muito importantes. Sabe-se que vários métodos podem ser combinados para realizar tal avaliação, por isso esse estudo pretendeu ainda utilizar diferentes metodologias para entender como cada uma pode contribuir para estudos desta área.

## 5 Conclusões

Esse estudo conclui que mesmo o gênero *Fusarium* sendo reconhecidamente um promissor para produção de cutinase, o cultivo da linhagem CBMAI 2266 ainda precisa de otimização para demonstrar uma atividade enzimática competitiva.

Conclui-se que o fragmento de PET utilizado como única fonte de carbono, no meio de cultivo empregado nesse estudo, não favorece a produção de cutinase. Acredita-se que tratado previamente de forma mecânica venha fornecer melhores resultados.

Dentre as fontes de carbono que agiram como indutores aumentando a produção de cutinase, a cutina e o farelo de trigo são os mais recomendados.

A avaliação da ação da cutinase sobre o PET, por meio da combinação de vários ensaios como o FTIR, DSC, MEV e CG-MS, sugerem que a enzima pode atuar no processo de hidrólise do PET, demonstrando a importância da realização desses ensaios quando se investiga a hidrólise de polímeros. Outros ensaios também podem ser utilizados em estudos futuros para avaliar a hidrólise enzimática, como a cromatografia líquida e avaliação de ângulo de contato.

Baseado nos resultados obtidos, conclui-se a importância de uma etapa de seleção de microrganismos produtores de cutinase utilizando métodos qualitativos, possibilitando avaliar um número maior de linhagens, pois o tempo de crescimento e avaliação seria menor.

## 6 Referências Bibliográficas

- ABIPET - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGEM. **Estudo sobre a indústria de reciclagem do plástico no Brasil**. 2022. Disponível em: <[https://abipet.org.br/wp-content/uploads/2022/12/Infografico\\_12\\_Censo\\_da\\_Reciclagem\\_no\\_Brasil-Novembro\\_2022.pdf](https://abipet.org.br/wp-content/uploads/2022/12/Infografico_12_Censo_da_Reciclagem_no_Brasil-Novembro_2022.pdf)>. Acesso em: 15 abr 2024.
- ACOSTA, M. B. R. *et al.* Enzimas hidrolíticas (DNAses, lipases e proteases) secretadas por *Cladosporium cladosporioides* isolado de solo e seu potencial de aplicação em biotecnologia. **Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología**, Norteamérica, 37, p. 61-65, 2017.
- ADIGÜZEL, A.O.; TUNÇER, M. Purification and characterization of cutinase from *Bacillus* sp. KY0701 isolated from plastic wastes. **Prep. Biochem. Biotechnol.**, 47, p. 925–933, 2017.
- AGUIAR, A. R. *et al.* Seleção de isolados de *Trichoderma spp.* na promoção de crescimento de mudas do feijoeiro cv. carioca e controle de *Sclerotinia sclerotiorum*. **Ciência e Natura UFSM**, 34 (2), p. 47-58, 2013.
- AHMADITABATABAEI, S.; KYAZZE, G.; IQBAL, H. M. N.; KESHAVARZ, T. Fungal Enzymes as Catalytic Tools for Polyethylene Terephthalate (PET) Degradation. **J. Fungi**, 7, 931, 2021.
- ALBURQUERQUE M. C. C. *et al.* Aplicações de enzimas na síntese e na modificação de polímeros. **Quim. Nova**, v. 37, nº. 4, p. 699-708, 2014.
- ALISCH, M. *et al.* Biocatalytic modification of polyethylene terephthalate fibres by esterases from actinomycete isolates. **Biocatalysis and Biotransformation**, v. 22, n. 5– 6, p. 347–351, 2004.
- AMMALA, A.; BATEMAN, S.; DEAN, K.; PETINAKIS, E.; SANGWAN, P.; WONG, S.; YUAN, Q.; YU, L.; PATRICK, C.; LEONG, K. H. An overview of degradable and biodegradable polyolefins. **Progress in polymer science**, Londres, v. 36, p. 1015-1049, 2011.
- AMORIM, C. C.; MIRANDA, E. A.; FARINAS C. S. Liquefação de farelo de trigo para a produção de Xilanases por cultivo submerso com *Aspergillus niger*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, n. XXI., 2016, Fortaleza - Ce.
- ANBALAGAN, S., *et al.* Hydrolytic Degradation of Polyethylene Terephthalate by Cutinase Enzyme Derived from Fungal Biomass–Molecular Characterization. **Biointerface Res. Appl. Chem.** V.12, p. 653–667, 2021.
- AUSTIN, H. P. *et al.* Characterization and engineering of a plastic-degrading aromatic polyesterase. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 115, n 19, 2018.

AWAJA, F.; PAVEL, D. Recycling of PET. **Eur. Polym. J.**, v. 41, n. 7, p.1453 – 1477, 2005.

BAKKER, C. M. C. N. **Avaliação da produção e aplicação de enzimas utilizando resíduos de farelo de trigo como substrato por fermentação em estado sólido**. 2017. Tese (Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2017.

BRASIL. Resolução da diretoria colegiada - RDC Nº 326, de 3 de dezembro de 2019. Estabelece a lista positiva de aditivos destinados à elaboração de materiais plásticos e revestimentos poliméricos em contato com alimentos e dá outras providências. Brasília (DF): MS; 2019. Brasil.

BENSCH, K.; GROENEWALD, J.Z.; BRAUN, U.; DIJKSTERHUIS, J.; DE JESÚS YÁÑEZ-MORALES, M.; CROUS, P.W. Common but different: The expanding realm of Cladosporium. **STUDIES IN MYCOLOGY** 82: 23–74, 2015.  
<https://doi.org/10.1016/j.simyco.2015.10.001>

BENTES, V.L.I. **Hidrólise básica de resíduos poliméricos pós consumo e degradação catalítica dos monômeros de partida**. 2008. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2008.

BONOGLI-SANTOS R. C. *et al.* Enhanced textile dye decolorization by marine-derived basidiomycete *Peniophora* sp. CBMAI 1063 using integrated statistical design. **Environ Sci Pollut Res**, 23:8659–8668 2016, 2016.

BOTERO W. B. **Bioprospecção e isolamento de metabólitos de *Microsphaeropsis arundinis*, um fungo endofítico de *Paepalanthus planifolius* (Eriocaulaceae)**. 2018. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2018.

BUCIOLI, E. C. *et al.* Benefits of Disposing Polyhydroxybutyrate-Co-Hydroxyvalerate (PHBV). **Int J Waste Resour**, Vol. 11 Iss. 8 No: 419, 2021.

Blends in Soil, as Alternative for Low Density Polyethylene

BYUN, Y.; KIM, Y. T. Utilization of Bioplastics for Food Packaging Industry. In: HAN, J. **Innovations in Food Packaging** [s.l.] Elsevier Ltd, 369-389, 2013.

CAETANO, M. M. C. M. **Avaliação do potencial de fungos endofíticos e fitopatogênicos em relação à produção da enzima cutinase**. 2020. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia do Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia) - Universidade Federal de São Carlos, 2020.

CANEVALORO JR, S. V. **Ciência dos Polímeros**: Um texto básico para tecnólogos e engenheiros. 1ª edição. São Paulo: Artliber editora, 2002. p. 183.

CAPRARA C. S. C. **Processo de obtenção e caracterização de proteases extracelulares expressas por *Penicillium restrictum***. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências da Saúde) - Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

CASTRO, A. M., *et al.* Screening of commercial enzymes for poly (ethylene terephthalate) (PET) hydrolysis and synergy studies on different substrate sources. **J. Ind. Microbiol. Biotechnol.** 44, 835–844, 2017.

CHAMAS, A; MOON, H; ZHENG, J; QIU, Y; TABASSUM, T; JANG, J.H; ABU-OMAR, M; SCOTT, S.L and SUH, S. Degradation Rates of Plastics in the Environment. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering.** 2020.

CHEN, S., SU, L., CHEN, J. e WU, J. Cutinase: characteristics, preparation, and application. **Biotechnol. Adv.** 31, 1754–1767, 2013.

CHEN, Z. *et al.* The thermal analysis of poly(ethylene terephthalate) by FTIR spectroscopy. **Thermochimica Acta** 552 (2013) 123– 130.

CHEN, Z. *et al.* Biodegradation of highly crystallized poly(ethylene terephthalate) through cell surface codisplay of bacterial PETase and hydrophobin. **Nature Communications**, 2022, 13:7138.

COCACOLA. **Coca-Cola partilha a sua tecnologia Plantbottle para melhorar a sustentabilidade das embalagens.** 2019. Disponível em:< <https://www.coca-cola.com/pt/pt/sustainability/plantbottle-melhorar-sustentabilidade-embalagens> >. Acesso em: abr. 2024.

COELHO, A. **Desenvolvimento morfológico sob deformação de nanocompósitos de PET e nanotubos de carbono.** 2013. Dissertação (mestrado em Engenharia de Polímeros). Universidade do Minho. Braga, Portugal, 2013.

COLLA, E. *et al.* Optimization of trehalose production by *Rhodotorula dairenensis* following a sequential strategy of experimental design. **Food and bioprocess technology**, v. 3, 265–275, 2010.

COSTA, C. Z. *et al.* Degradação microbiológica e enzimática de polímeros: uma revisão. **Quim. Nova**, v. 38, n. 2, p.259-267, 2015.

CRUZ, H. J. M. **Estudo químico e avaliação das atividades antimicrobianas, anticolinesterásica e larvicida do fungo *Curvularia lunata* e levantamento quimiotaxonômico do complexo *Curvularia-Bipolaris-Cochliobolu*.** 2013. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013.

DANSO, D. *et al.* New insights into the function and global distribution of polyethylene terephthalate (PET) degrading bacteria and enzymes in marine and terrestrial metagenomes. **Appl. Environ. Microbiol.** V. 84 n 8, 2018.

DEGANI, O. Production and Purification of Cutinase from *Fusarium oxysporum* Using Modified Growth Media and a Specific Cutinase Substrate. **Advances in Bioscience and Biotechnology**, 6(4):245-258, 2015.

DIN, S. U. *et al.* The Purification and Characterization of a Cutinase-like Enzyme with Activity on Polyethylene Terephthalate (PET) from a Newly Isolated Bacterium *Stenotrophomonas maltophilia* PRS8 at a Mesophilic Temperature. **Appl. Sci.** 2023, 13, 3686.

DONELLI I. *et al.* Surface structure and properties of poly-(ethylene terephthalate) hydrolyzed by alkali and cutinase. **Polymer Degradation and Stability**, 95, p. 1542-1550, 2010.

DUTTA, K., SEN, S. e VEERANKI, V. D. (2009). Production, characterization and applications of microbial cutinases. **Process Biochem.** 44, 127–134, 2009.

EDGE, M. *et al.* Characterisation of the species responsible for yellowing in melt degraded aromatic polyesters-I: Yellowing of poly(ethylene terephthalate). **Polymer Degradation and Stability** 53 (1996) 141-151.

EGMOND, M.R.; VLIEG, J. *Fusarium solani pisi* Cutinase. **Biochimie**, v. 82, 1015-1021, 2000.

EL-ENSHASY, H.A. Filamentous fungal cultures: process, characteristics, products and applications. **Elsevier**. p. 241-265. 2007.

FABRIS, S. **Desenvolvimento e validação de método analítico para a determinação de contaminantes voláteis provenientes de embalagens de PET (polietileno tereftalato) e sua aplicação em PET pós-consumo.** 2007.

Dissertação (mestrado) - Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP: [s.n.], 2007.

FARIA, A. U.; MARTINS-FRANCHETTI, S. Biodegradação de Filmes de Polipropileno (PP), Poli(3-hidroxibutirato) (PHB) e Blenda de PP/PHB por Microrganismos das Águas do Rio Atibaia. **Polímeros**, vol. 20, nº 2, p. 141-147, 2010.

FARIA, P. C .; WISBECK, E.; DIAS, L. P. Biodegradação de polipropileno reciclado (ppr) e de poli (tereftalato de etileno) reciclado (petr) por *Pleurotus ostreatus*. **Revista Matéria**, v.20, n.2, pp. 452 – 459, 2015.

FICH, E. A., *et al.* The plant polyester cutin: Biosynthesis structure, and biological roles. **Annual Review of Plant Biology**, 67 (1), 2016.

FRAGA, L.P. **PRODUÇÃO DE CUTINASE POR *Fusarium oxysporum* UTILIZANDO SUB-PRODUTOS AGROINDUSTRIAIS.** 2008. Dissertação de mestrado em Ciência de Alimentos - Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP: [s.n.], 2008.

GAO Y. *et al.* **Purification and characterization of a novel chlorpyrifos hydrolase from *Cladosporium cladosporioides* Hu-01.** **PLoS ONE**. 2012. Disponível em: <<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0038137>>. Acesso em: fev. 2019.

GHAZALI, F. M. *et al.* Biodegradation of hydrocarbons in soil by microbial consortium. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 54, 61 – 67, 2004.

GEYER, R., JAMBECK, J. R. e LAW, K. L. Production, use, and fate of all plastics ever made. **Sci. Adv.** **3**: e1700782, 2017.

GOMES D. S. *et al.* Production of heterologous cutinases by *E. coli* and improved enzyme formulation for application on plastic degradation. **Electronic Journal of Biotechnology**, Vol. 16 No. 5, 2013.

GONÇALVES-DIAS S. L. F.; TEODÓSIO, A. S. S. Reciclagem do PET: desafios e possibilidades. **XXVI ENEGEP** - Fortaleza, CE, Brasil, 2006.

GRIEBELER, N. *et al.* Isolation and screening of lipase-producing fungi with hydrolytic activity, **Food Bioprocess Technol.**, v. 4, n.4, p. 578–586, 2011.

GUEVARA M. *et al.* Efecto antagónico de una cepa de *Trichoderma* sp sobre *Fusarium* sp. En planta de tomate Río Grande (*Solanum lycopersicum*). **Revista de Investigación y Cultura**, vol. 5, núm. 1, 2016.

Heinen, W. On the enzymatic degradation of cutin. IV. Separation of cutinase from associated oxidative enzymes. **Enzymologia** 1963, 25, 281–291.

HELLESNES, K. N. *et al.* Biochemical Characterization and NMR Study of a PET-Hydrolyzing Cutinase from *Fusarium solani* pisi. **Biochemistry** 2023, 62, 1369 – 1375

HIRAGA, K., TANIGUCHI, I., YOSHIDA, S., KIMURA, Y. e ODA, K. Biodegradation of waste PET: a sustainable solution for dealing with plastic pollution. **EMBO Rep.** 20:e49365, 2019.

IOAKEIMIDIS, C; FOTOPOULOU, K.N; KARAPANAGIOTI, H.K. The degradation potential of PET bottles in the marine environment: An ATR-FTIR based approach. **Sci Rep.** 2016.

JADULCO, R. *et al.* New metabolites from sponge-derived fungi *Curvularia luneta* and *Cladosporium herbarum*, **Journal of Natural Products**, v. 65, p. 730-733, 2002.

JAVED, M. M. *et al.* Wheat bran as a brown gold: Nutritious value and its biotechnological applications. **African Journal of Microbiology Research**, v. 6, p. 724-733, 2012.

JOO, S. *et al.* Structural insight into molecular mechanism of poly(ethylene terephthalate) degradation. **Nature Communications**, v. 9, 382, 2018.

KÄPLER A. *et al.* Analysis of environmental microplastics by vibrational microspectroscopy: FTIR, Raman or both? **Anal Bioanal Chem**, 408:8377–8391, 2016.

KAWAI, F. *et al.* Current knowledge on enzymatic PET degradation and its possible application to waste stream management and other fields. **Applied Microbiology and Biotechnology** v. 103:4253–4268, 2019.

KOSHTI, R., MEHTA, L., AND SAMARTH, N. Biological recycling of polyethylene terephthalate: a mini-review. **J. Polym. Environ.** 26, 3520–3529, 2018.

KUMAR B. A., *et al.* Wheat bran fermentation for the production of cellulase and xylanase by *Aspergillus niger* NFCCI 4113. **Research Journal of Biotechnology**, v. 13, 2018.

KUMARI, V. *et al.* Optimization of medium parameters by response surface methodology (RSM) for enhanced production of cutinase from *Aspergillus* sp. RL2Ct. **3 Biotech**, v. 6:149, 2016.

KUMARI, A. *et al.* Transcriptome-Guided Insights Into Plastic Degradation by the Marine Bacterium. **Front. Microbiol.** 12:751571. 2021. doi: 10.3389/fmicb.2021.751571

KRÜGER, C. **Síntese enzimática de éster do biodiesel a partir de lipases fúngicas de *Penicillium sumatrense* produzidas por fermentação no estado sólido.** 2017. 84 f. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2017.

KYAW, B. M. *et al.* Biodegradation of Low Density Polythene (LDPE) by *Pseudomonas* Species. **Indian J Microbiol** (July–Sept 2012) 52(3):411–419

LIEBMINGER, S. *et al.* Hydrolysis of PET and bis-(benzoyloxyethyl) terephthalate with a new polyesterase from *Penicillium citrinum*. **Biocatalysis and Biotransformation**, v. 25, n. 2–4, p. 171–177, 2007.

LOPES, I.R.; CANELLAS, A.L.B.; DE OLIVEIRA, B.F.R.; LAPORT, M.S. Microrganismos marinhos: um reservatório de hidrolases biotecnologicamente interessantes. **Revista da Biologia.** 2023. vol,22p 32-46.

LOWRY, O. H., *et al.* Protein measurement with the Folin-Phenol reagent. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 193, p; 265-276, 1951.

LISBOA, Paulo Henrique Gomes. **Caracterização de rizobactérias associadas à *Solanum lycocarpum* St. Hil.** quanto ao potencial biotecnológico para promoção de crescimento vegetal, enzimas e agentes antimicrobianos. 2020. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Biotecnologia) – UFSCar, São Carlos, 2020.

LUCAS, N. *et al.* Polymer biodegradation: mechanisms and estimation techniques, **Chemosphere**, Oxford, v. 73, p. 429-442, 2008.

LUO J. *et al.* Arundinols A – C and Arundinones A and B from the Plant Endophytic Fungus *Microsphaeropsis arundinis*. **J. Nat. Prod.**, 76, p. 107 – 112, 2013.

MACEDO, G. A.; PIO, T. F. A Rapid Screening Method for cutinase producing microorganisms. **Brazilian Journal of Microbiology**. v. 36, p. 388-394, 2005.

MACEDO, G.; PIO, T. Optimizing cutinase production by *Fusarium oxysporum* in liquid medium using response surface methodology. **Journal of Biotechnology**, v. 131, n. 2, p. S211–S212, 2007.

MACEDO, I. M. E. *et al.* Reciclagem do Polietileno Tereftalato (PET) no Fomento da Economia Circular. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v.6, n.8, p.57704-57723, aug.2020.

MACHADO D. F. M. *et al.* *Trichoderma* no Brasil: O Fungo e o bioagente. **Revista de Ciências Agrárias**, Vol. 35, 1, 26: p. 274-288, 2012.

MAEDA, H., YAMAGATA, Y., ABE, K. *et al.* Purification and characterization of a biodegradable plastic-degrading enzyme from *Aspergillus oryzae*. **Appl Microbiol Biotechnol** 67, 778–788, 2005.

MAEDA, H. *et al.* Purification and characterization of a biodegradable plastic-degrading enzyme from *Aspergillus oryzae*. **Appl Microbiol Biotechnol** (2005) 67: 778–788.

MALAFATTI-PICCA, L. **Despolimerização de Polietilenotereftalato (PET) mediada por fungos filamentosos**. 2018. Tese (doutorado em Ciências Biológicas) - Microbiologia Aplicada. - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências, Rio Claro, 2018.

MALAFATTI-PICCA, L. *et al.* Hydrocarbon-associated substrates reveal promising fungi for poly(ethylene terephthalate) (PET) depolymerization. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 50, n. 3, p. 633-648, 2019.

MALAFATTI-PICCA, L. *et al.* Fungal Screening for Potential PET Depolymerization. **Polymers** 2023, 15, 1581.

MANRICH A. *et al.* **Extração e caracterização de cutina de casca de maçã**. IX Workshop de Nanotecnologia Aplicada ao Agronegócio. Embrapa Instrumentação, São Carlos/SP, 21 a 22 de Novembro de 2017.

MARÍN-MOROCHO, K. *et al.* Identification of Potential Migrants in Polyethylene Terephthalate Samples of Ecuadorian Market. **Polymers** 2021, 13, 3769.

MAURIA, A.; BHATTACHARYA, A.; KHARE, S. K. Enzymatic Remediation of Polyethylene Terephthalate (PET)–Based Polymers for Effective Management of Plastic Wastes: An Overview. **Front. Bioeng. Biotechnol.** 8:602325, 2020.

MECOZZI, M. e NISINI, L. The differentiation of biodegradable and non-biodegradable polyethylene terephthalate (PET) samples by FTIR spectroscopy: A potential support for the structural differentiation of PET in environmental analysis. **Infrared Physics and Technology** 101 (2019) 119–126.

MICHEREFF, S.J. *et al.* Variabilidade de isolados de *Alternaria brassicicola* no estado de Pernambuco. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, n.6, p. 656-663, nov./ dez. 2003.

MILANESI, P.M. **Caracterização, toxicidade e patogenicidade de *Fusarium* spp. em genótipos de soja em sistema plantio direto**. 2009. 91 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

MIRANDA G. M. **Avaliação do comportamento de degradação de blenda de PEBD com aditivo PEPZYME™**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

MOHAMED M. A. *et al.* Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy, in: Nidal, H., Ahmad Fauzi, I., Takeshi, M., Darren, O.-R. (Eds.), *Membrane Characterization*. **Elsevier**, p. 3-29, 2017.

MOURA L. F. W. G. *et al.* Isolamento e identificação de fungos associados às plantas medicinais nativas da caatinga da região dos Inhamuns, Tauá, Ceará, Brasil. **Essentia**, Sobral, v. 17, n. 2, p. 43-63, 2016.

MÜLLER. R-J. *et al.* Enzymatic Degradation of Poly(ethylene terephthalate): Rapid Hydrolyse using a Hydrolase from *T. fusca*. **Macromol. Rapid Commun.** V.26, p.1400–1405, 2005.

National Center for Biotechnology Information (2024). **PubChem Compound Summary**. Retrieved February 20, 2024 from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/>.

NIMCHUA, T.; PUNNAPAYAK, H.; ZIMMERMANN, W. Comparison of the hydrolysis of polyethylene terephthalate fibers by a hydrolase from *Fusarium oxysporum* LCH I and *Fusarium solani* f . sp . *pisi*. **Biotechnol J.**, 2 (3), p. 361–364, 2007.

NOWAK, B. *et al.* Biodegradation of poly(ethylene terephthalate) modified with polyester “Bionolle®” by *Penicillium funiculosum*. **Polimery/Polymers**, v. 56, n. 1, p. 35–44, 2011.

OLIVEIRA, C. T. **Produção, concentração e caracterização de cutinase microbiana**. 2018. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). 2018.

PATEL N. *et al.* Lipases: Sources, Production, Purification, and Applications. **Recent Patents on Biotechnology**, vol. 12, nº. 4, 2018.

PARK, S. H. e KIM, S. H. Poly (ethylene terephthalate) recycling for high value added textiles. **Fash. Text.** 1:1, 2014.

PARMAR, A. S.; RAHI, D. K. Cutinase production from *Fusarium verticillioides* using response surface methodology and its application as potential insecticide degrader. **Environmental Science and Pollution Research** (2023) 30:86484–86497.

PEREIRA A. P. S. *et al.* Processing and Characterization of PET Composites Reinforced With Geopolymer Concrete Waste. **Materials Research.**, 20(Suppl. 2): 411-420 , 2017.

PEWTRUSTS. The Pew Charitable Trusts. **BREAKING THE PLASTIC WAVE: A Comprehensive Assessment of Pathways Towards Stopping Ocean Plastic Pollution.** 2020. Disponível em: <[https://www.pewtrusts.org/-/media/assets/2020/07/breakingtheplasticwave\\_report.pdf](https://www.pewtrusts.org/-/media/assets/2020/07/breakingtheplasticwave_report.pdf)>. Acesso em abr. 2024.

PICPLAST- Plano de incentivo à cadeia do plástico. **Monitoramento dos índices de reciclagem mecânica de plásticos pós-consumo no Brasil.** Webinar, 2023. Disponível em: < [https://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2023/11/Indices-Reciclagem-2022\\_PICPlast\\_Webinar\\_20out23\\_Revisado\\_2.pdf](https://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2023/11/Indices-Reciclagem-2022_PICPlast_Webinar_20out23_Revisado_2.pdf)>. Acesso em: abr, 2024.

PIO, T. F.; MACEDO, G. A. Optimizing the production of cutinase by *Fusarium oxysporum* using response surface methodology. **Enzyme and Microbial Technology**, 41, 613–619, 2007.

PLIEGO, J., *et al.* Monitoring Lipase/Esterase Activity by Stopped Flow in a Sequential Injection Analysis System Using p-Nitrophenyl Butyrate. **Sensors**, v. 15, p. 2798-2811, 2015.

PHILIP, S.; KESHAVARZ, T.; ROY, I. Polyhydroxyalkanoates: biodegradable polymers with a range of applications. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v. 82, n. 3, p. 233-247, 2007.

QUARTINELLO, F., *et al.* Synergistic chemo-enzymatic hydrolysis of poly(ethylene terephthalate) from textile waste. **Microbial. Biotechnol.** 10, 1376–1383, 2017.

RABELLO, M.S.; WELLEN, R.M.R. “Estudo da Cristalização a Frio do Poli (tereftalato de etileno) (PET) para Produção de Embalagens”, **Revista Eletrônica de Materiais e Processos.** v.3, n. 2, p. 1-9, 2008.

RANI M., *et al.* Qualitative Analysis of Additives in Plastic Marine Debris and Its New Products. **Arch Environ Contam Toxicol** (2015) 69:352–366.

RATAJSKA, M.; BORYNIEC, S. Physical and chemical aspects of biodegradation of natural polymers. **Reactive and Functional Polymers**, v. 38, n. 1, p. 35-49, 1998.

RAVINDRANATH, K.; MASHELKAR, R. A. Polyethylene terephthalate-I. Chemistry, thermodynamics and transport properties. **Chemical Engineering Science**, v. 41, n. 9, p. 2197–2214, 1986.

ROCHMAN, C. M. *et al.* Classify plastic waste as hazardous. **Nature**, v. 494, p. 169-171, 2013.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. **Planejamento de Experimentos e Otimização de Processos: uma estratégia seqüencial de planejamentos**, Campinas, SP, Casa do Pão Editora, 2005.

RODRIGUES G. S. *et al.* Antagonismo de *Trichoderma spp.* ao agente etiológico da Murcha de Ceratocystis em cacaueiro. **Summa Phytopathol.**, Botucatu, v. 44, n. 1, p. 72-78, 2018.

ROMÃO, W., SPINACÉ, M.A.S., DE PAOLI, M.A. "Poli(Tereftalato de Etileno), PET: Uma Revisão Sobre os Processos de Síntese, Mecanismos de Degradação e sua Reciclagem". **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 19, n. 2, p. 121-132, 2009.

RONKVIST, A. M. *et al.* Cutinase-Catalyzed Hydrolysis of Poly(ethylene terephthalate). **Macromolecules** 2009, 42, 5128–5138

ROZENDO, A. D. R. **Reciclagem química do Poli(tereftalato de etileno) (PET) pós-consumo por aminólise e aplicação na síntese de Poli(éster-amida)**. (2011). Dissertação (mestrado em Ciência e Tecnologia de Polímeros) - Instituto de Macromoléculas - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

RUEDA-RUEDA, H. *et al.* Cutinases obtained from filamentous fungi: a comparison of screening methods. **Revista DYNA**, 87(214), pp. 183-190, July - September, 2020.

SALES, J. C. S. **Produção de enzimas por *Yarrowia lipolytica* IMUFRJ 50682 em fermentação no estado sólido visando o uso biodespolimerização**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.

SAN-MARTÍN A., PAINEMAL K., DÍAZ Y., MARTÍNEZ C., ROVIROSA J. Metabolites from the marine fungus *Cladosporium cladosporioides*. **An Asoc Quím Argent**, 93:247-51, 2005.

SANTOS-BENEIT, F. *et al.* Screening Enzymes That Can Depolymerize Commercial Biodegradable Polymers: Heterologous Expression of *Fusarium solani* Cutinase in *Escherichia coli*. **Microorganisms**, 11, 328, 2023.

SANTOS, M. F. C. *et al.* Phytotoxins isolated of *Curvularia sp* fungi associated with *Spigelia anthelmia*. 31ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química - **Sociedade Brasileira de Química (SBQ)**, 2008.

SANTOS, R. C. B. **Fungos isolados de macro-organismos marinhos brasileiros: Diversidade genética e potencial biotecnológico**. 2010. Tese (doutorado em Ciência de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

SEMAN, W. M. K. W. *et al.* High level expression of *Glomerella cingulate* cutinase in dense cultures of *Pichia pastoris* grown under fed-batch conditions. **Journal of Biotechnology**, v. 184, p. 219–228, 2014.

SEN, R.; SWAMINATHAN, T. Response surface modeling and optimization to elucidate and analyze the effects of inoculum age and size on surfactin production. **Biochemical Engineering Journal**, 21, p. 141–148, 2004.

SEPPERUMAL, U.; MARKANDAN, M.; PALRAJA, I. Micromorphological and chemical changes during biodegradation of Polyethylene terephthalate ( PET ) by *Penicillium* sp . **Journal of Microbiology and Biotechnology Research**, v. 3, n. 4, p. 47–53, 2013.

SEVERO M. G.; MORAES, K.; RUIZ, W. A. Modificação enzimática da farinha de arroz visando a produção de amido resistente. **Quim. Nova**, vol. 33, nº 2, p. 345-350, 2010.

SEVILLA et al. Degradation of PET Bottles by an Engineered *Ideonella sakaiensis* PETase. **Polymers**, 15, 1779, 2023.

SHAH, A.; HASAN, F.; HAMEED, A.; AHMED, S. Biological degradation of plastics: A comprehensive review. **Biotechnology Advances**, v. 26, n. 3, p. 246-265, 2008.

SHAHNAWAZ, M. et al. Bacteria-based polythene degradation products: GC-MS analysis and toxicity testing. **Environ Sci Pollut Res**, 2016.

SARKHEL, R. et al. Comparative biodegradation study of polymer from plastic bottle waste using novel isolated bacteria and fungi from marine source. **Journal of Polymer Research** (2020) 27:16.

SHARON C.; SHARON M. Studies on Biodegradation of Polyethylene terephthalate: A synthetic polymer. **J. Microbiol. Biotech. Res.**, 2 (2):248-257 , 2012.

SILVA, K.R.I.S. **Biodegradação de polietileno tereftalato (pet) por fungos ligninolíticos**. 2009. 193 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Departamento Ciência de Alimentos, Unicamp, Campinas, 2009.

SILVA, C. T. **Avaliação de metodologia de obtenção do ácido tereftálico via reciclagem química do pet**. 2012. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Escola de Química, Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

SINGH, A et al. Techno-economic, life-cycle, and socioeconomic impact analysis of enzymatic recycling of poly(ethylene terephthalate). **Joule**. 2021.

SINGH, R. et al. Microbial enzymes: industrial progress in 21st century. **3 Biotech**, v. 6, n. 174, p. 1-15, 2016.

SMITH, B. C. Infrared Spectroscopy of Polymers, VIII: Polyesters and the Rule of Three. **Spectroscopy**, v. 37, Issue, 10 p. 25–28, 2022.

SOARES JR., A. B. **Produção do poli(tereftalato de etileno) modificado com glicerol e derivados**. 2010. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

SOARES, I. et al. Fungos na Biorremediação de Áreas Degradadas. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 78, n. 2, p. 341-350, abr./jun. 2011.

SONNENDECKER, C. *et al.* Low Carbon Footprint Recycling of Post-Consumer PET Plastic with a Metagenomic Polyester Hydrolase. **ChemSusChem**, v. 15, n. 9, p. e202101062, 2022.

SPERANZA P. **Caracterização bioquímica de cutinases produzidas em diferentes meios de cultivo por *Fusarium oxysporum* e avaliação do potencial enantiosseletivo destas enzimas**. 2010. Dissertação (mestrado em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, 2010.

SPERANZA, P.; CARVALHO, P. O.; MACEDO, G. A. Effects of different solid state fermentation substrate on biochemical properties of cutinase from *Fusarium* sp. **Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic**, 72, 181-186, 2011.

SOOKSAI, T. *et al.* Production of cutinase from *Fusarium falciforme* and its application for hydrophilicity improvement of polyethylene terephthalate fabric. **3 Biotech**. V. 9:389, 2019.

STEFANELLI, T. K. T. D. **Remoção de corante de poli(tereftalato de etileno) (PET) através de recristalização e sua posterior despolimerização em meio ácido**. 2013. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, Campinas, 2013.

TANIGUCHI, I., YOSHIDA, S., HIRAGA, K., MIYAMOTO, K., KIMURA, Y., and ODA, K. Biodegradation of PET: current status and application aspects. **ACS Catal.** 9, 4089–4105, 2019.

THAKKAR A.; SARAF M. Application of Statistically Based Experimental Designs to Optimize Cellulase Production and Identification of Gene. **Nat. Prod. Bioprospect**, 4: p. 341–351, 2014.

TINOCO, M. L. P. **Silenciamento Trans-Específico in vivo entre fumo e o fungo patogênico *Fusarium verticillioides***. 2010. Tese (doutorado em Biologia Molecular) – Universidade de Brasília, Departamento de Biologia Celular, Brasília, 2010.

TOURNIER, V., *et al.* An engineered PET depolymerase to break down and recycle plastic bottles. **Nature** 580, 216–219, 2020.

TUDZYNSKI, B. Nitrogen regulation of fungal secondary metabolism in fungi. **Front Microbiol.** 2014 Nov 28;5:656.

WANG, Feifei *et al.* Microplastic characteristics in organisms of different trophic levels from Liaohe Estuary, China. **Science of The Total Environment**, v. 789, p. 148027, 2021.

WENG, Y. X., WANG, L. ZHANG, M., WANG X. L., WANG, Y. Z. Biodegradation behavior of P (3HB, 4HB)/PLA blends in real soil environments. **Polymer testing**, v. 32, p. 60-70, 2013.

YOSHIDA, S. *et al.* Response to Comment on “A bacterium that degrades and assimilates poly(ethylene terephthalate)”. **Science**, v. 353, n. 6301, p. 759–759, 2016.

ZIMMERMANN, W.; BILLIG, S. Enzymes for the Biofunctionalization of Poly(Ethylene Terephthalate). **Adv Biochem Engin/Biotechnol**, v. 125: p. 97-120, 2010.