

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CIÊNCIAS DA SAÚDE DE
PORTO ALEGRE – UFCSPA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOCÊNCIAS**

Maria Luísa de Oliveira

**Biodegradação de polietileno: um estudo
sobre a atividade de fungos cultiváveis
oriundos de larvas de *Galleria mellonella***

UFCSPA

Universidade Federal de Ciências da Saúde
de Porto Alegre

**Porto Alegre
2024**

Maria Luísa de Oliveira

**Biodegradação de polietileno: um estudo
sobre a atividade de fungos cultiváveis
oriundos de larvas de *Galleria mellonella***

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Biociências da Fundação Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre como requisito para a obtenção do grau de Mestre

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Danielle da Silva Trentin
Coorientadora: Dr^a. Gabriela Messias Miranda Menezes

**Porto Alegre
2024**

Catálogo na Publicação

Oliveira, Maria Luísa de

Biodegradação de polietileno: um estudo sobre a atividade de fungos cultiváveis oriundos de larvas de *Galleria mellonella* / Maria Luísa de Oliveira. -- 2024.

37 p. : 30 cm.

Dissertação (mestrado) -- Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre, Programa de Pós-Graduação em BioCiências, 2024.

Orientador(a): Profa. Dra. Danielle da Silva Trentin ;
coorientador(a): Dra. Gabriela Messias Miranda Menezes.

1. Biodegradação. 2. Polietileno. 3. Fungos. I.
Título.

Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da UFCSPA com os dados
fornecidos pelo(a) autor(a).

INSTITUIÇÕES E FONTES FINANCIADORAS

O presente estudo foi desenvolvido no Laboratório de Microbiologia Molecular (sala 302, prédio 3), no Laboratório de Micologia e Parasitologia (sala 205, prédio 1), e no Laboratório de Bacteriologia & Modelos Experimentais Alternativos (sala 104b, prédio 3), situados na Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre (UFCSPA). Técnicas analíticas também foram desenvolvidas na Central Analítica da UFCSPA, e no Laboratório de Espectroscopia e Laboratório Central de Microanálise e Microscopia (LabCeMM) da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS).

A UFCSPA concedeu bolsa de mestrado acadêmico para a realização deste projeto, a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) forneceu auxílio financeiro através do Edital 07/2021 - Programa Pesquisador Gaúcho – (processo 21/2551-0002320-1), e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, Brazil) forneceu auxílio financeiro através da Chamada CNPq/MCTI-FNDCT CT-Petro N° 43/2022 - Tecnologias para decomposição, tratamento e substituição do plástico - (processo 405355/2022-0), e através da Bolsa de Produtividade em Pesquisa da Professora Danielle Trentin (processo 308617/2021-5)

Dedico este trabalho ao Sol da minha vida, por todo apoio e incentivo ao longo desta trajetória.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer às minhas orientadoras, Danielle e Gabriela, por terem me dado a oportunidade de realizar um dos meus maiores sonhos. Agradeço do fundo do meu coração por toda orientação e apoio durante a realização deste trabalho, e pelo incentivo em sempre buscar o meu melhor.

Às meninas do BACMEA e do Laboratório 302, que além de pesquisadoras incríveis também posso chamar de amigas: o carinho e admiração que tenho por vocês é imenso! Agradeço por todo apoio, incentivo e parceria; desde o início eu soube que podia contar com vocês para o que precisasse, fosse auxílio com experimentos, acompanhamento do desenvolvimento do meu trabalho, ou o cafezinho nosso de cada dia.

À minha família e às minhas amigas da vida, agradeço o carinho e compreensão, por sempre estarem presentes de uma forma ou de outra, por compreenderem a minha ausência em determinados momentos, por estarem sempre dispostas a me acolher nos momentos difíceis, e por nunca me deixar duvidar da minha própria capacidade.

Ao meu namorado, por estar sempre ao meu lado me ouvindo, incentivando, e amparando. Sem o teu apoio, antes mesmo do início dessa jornada, eu jamais teria chegado aonde cheguei. Te agradeço por fazer parte da minha vida e me ajudar a correr atrás dos meus sonhos.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS.....	7
LISTA DE FIGURAS.....	8
RESUMO.....	9
ABSTRACT.....	10
1 INTRODUÇÃO.....	11
2 OBJETIVOS.....	15
2.1 Objetivo geral.....	15
2.2 Objetivos específicos.....	15
3 RESULTADOS.....	16
CAPÍTULO I.....	17
CAPÍTULO II.....	18
CAPÍTULO III.....	19
4 DISCUSSÃO GERAL.....	20
5 CONCLUSÃO.....	24
6 PERSPECTIVAS.....	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26
Anexo I – Guia dos autores – Periódico “International Biodeterioration & Biodegradation”.....	33
Anexo II – Guia dos autores – Periódico “Journal of Environmental Sciences”.....	34
Anexo III – Currículo Lattes da aluna Maria Luísa de Oliveira.....	35

LISTA DE ABREVIATURAS

BDA	Batata Dextrose Ágar
Cf	Cloranfenicol/ <i>Chloramphenicol</i>
GC-MS	<i>Gas Chromatography coupled to Mass Spectrometry</i> (Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas)
HDPE	<i>High-density polyethylene</i> (Polietileno de Alta Densidade)
HPA	Hidrocarboneto policíclico aromático
Lac	Laccase (Lacase)
LDPE	<i>Low-density polyethylene</i> (Polietileno de Baixa Densidade)
LiP	<i>Lignin-peroxidase</i> (Lignina-peroxidase)
LLDPE	<i>Linear low-density polyethylene</i> (Polietileno Linear de Baixa Densidade)
MDPE	<i>Medium-density polyethylene</i> (Polietileno de Média Densidade)
MnP	<i>Manganese-peroxidase</i> (Manganês-peroxidase)
MSM	<i>Minimum saline medium</i> (Meio salino mínimo)
PE	<i>Polyethylene</i> (Polietileno)
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PD	<i>Potato dextrose</i> (Batata Dextrose)
PDA	<i>Potato dextrose agar</i> (Ágar Batata Dextrose)

LISTA DE FIGURAS

INTRODUÇÃO

Figura 1. Representação da estrutura química do PE..... 16

RESUMO

O polietileno (PE) é, atualmente, o plástico mais consumido no mundo e, por ser um polímero resistente a agentes químicos e à biodegradação, os atuais métodos de gerenciamento de resíduos plásticos não conseguem, de forma eficaz, reduzir e/ou eliminar o PE do meio ambiente. Devido a este panorama, surge a necessidade de métodos alternativos que reduzam o impacto que o acúmulo de resíduos plásticos tem causado nas vidas aquática e terrestre. Larvas do inseto *Galleria mellonella* têm sido reportadas como capazes de biodegradar o PE, inclusive mais rapidamente do que microrganismos ambientais. Até o momento, há apenas três relatos na literatura sobre a biodegradação de PE por fungos filamentosos provenientes do intestino de *G. mellonella*, a saber: dois focados em *Aspergillus flavus* e um em *Cladosporium halotolerans*. O objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade de biodegradação do PE por fungos cultiváveis provenientes de larvas de *G. mellonella*. Glândulas salivares e intestino foram dissecados dos animais e utilizados como inóculo microbiano em meio de cultivo líquido. Os 16 fungos isolados (11 fungos filamentosos – *Aspergillus flavus*, *A. spathulatus*, *Epicoccum triodiae*, *E. viticis*, *Peniophora lycii*, e *Robbauera albescens* – e 5 leveduras – *Rhodotorula mucilaginosa* e *Moniliella pollinis*) foram posteriormente identificados por técnicas microbiológicas cultural e molecular, e isolados foram selecionados e cultivados com filmes de polietileno de baixa densidade (PEBD) como única fonte de carbono. Para os isolados *M. pollinis*, *A. flavus* e *A. spathulatus* foi observada presença de produtos intermediários apolares provenientes da biodegradação do PE, como por exemplo os hidrocarbonetos pentacosano, tetracontano, e heneicosano, através da análise do sobrenadante do cultivo por CG-EM. Além disso, foi investigada a capacidade dos fungos em biomineralizar o PEBD em seu produto final de biodegradação através da quantificação da produção de CO₂ durante seu contato com PEBD. A maior atividade foi observada para a levedura *Moniliella pollinis* (GYPE3) com liberação de 21,41±1,56 mg de CO₂ e 5,73%±0,42 de biomineralização após um período de 24 dias; estes dados foram superiores aos reportados para *Fusarium redolens* e para o consórcio formado *Aspergillus niger*, *Gliocladium virens*, *Penicillium pinophilum* e *Phanerochaete chrysosporium*. Este trabalho evidencia a ação de fungos, destacando leveduras, como agentes de biodegradação de PE e auxiliará no desenvolvimento futuro de novas tecnologias para o manejo de resíduos plásticos visando eliminar o seu acúmulo no meio ambiente.

Palavras-chave: *Galleria mellonella*, fungos filamentosos, leveduras, biodegradação, polietileno.

ABSTRACT

Polyethylene (PE) is currently the most consumed plastic in the world and, as it is a polymer resistant to chemical agents and biodegradation, current plastic waste management methods cannot effectively reduce and/or eliminate plastic waste PE from the environment. Due to this panorama, there is a need for alternative methods that reduce the impact that the accumulation of plastic waste has caused on aquatic and terrestrial life. Larvae of the insect *Galleria mellonella* have been reported to be capable of biodegrading PE even more quickly than environmental microorganisms. To date, there are only three reports in the literature on the biodegradation of PE by filamentous fungi from the intestine of *G. mellonella*, namely: two focused on *Aspergillus flavus* and one on *Cladosporium halotolerans*. The objective of this work was to evaluate the biodegradation capacity of PE by cultivable fungi from *G. mellonella* larvae. Salivary glands and intestine were dissected from the animals and used as microbial inoculum in liquid culture medium. The 16 isolated fungi (11 filamentous fungi – *Aspergillus flavus*, *A. spathulatus*, *Epicoccum triodiae*, *E. viticis*, *Peniophora lycii*, and *Robbauera albescens* – and 5 yeasts – *Rhodotorula mucilaginosa* and *Moniliella pollinis*) were subsequently identified by cultural and molecular microbiological techniques, and isolates were selected and cultured with low-density polyethylene (LDPE) films as the sole carbon source. For the isolates *M. pollinis*, *A. flavus* and *A. spathulatus*, the presence of nonpolar intermediate products arising from the biodegradation of PE, such as the hydrocarbons pentacosane, tetracontane, and heneicosane, was observed through analysis of the culture supernatant by GC-MS. Furthermore, the ability of fungi to biomineralize LDPE into its final biodegradation product was investigated by quantifying CO₂ production during contact with LDPE. The highest activity was observed for the yeast *Moniliella pollinis* (GYPE3) with release of 21.41±1.56 mg of CO₂ and 5.73%±0.42 of biomineralization after a period of 24 days, data higher than those reported for *Fusarium redolens* and for the consortium formed *Aspergillus niger*, *Gliocladium virens*, *Penicillium pinophilum* and *Phanerochaete chrysosporium*. This work highlights the action of fungi, especially yeasts, as PE biodegradation agents and will assist in the future development of new technologies for the management of plastic waste in order to eliminate their accumulation in the environment.

Keywords: *Galleria mellonella*, filamentous fungi, yeast, biodegradation, polyethylene.

1 INTRODUÇÃO

Em 2022, cerca de 400,3 milhões de toneladas de plásticos foram produzidas no mundo, sendo o polietileno (PE) um dos plásticos mais consumidos (PLASTICS EUROPE, 2023). Este polímero é um material leve e durável, aplicado na produção de filmes, embalagens, sacolas e garrafas, tubos, e até peças de automóveis (THIOUNN et al., 2020). Apresenta uma estrutura química rica em ligações covalentes C-C e C-H (Figura 1) e uma cadeia polimérica longa de alto peso molecular desprovida de grupos funcionais, tornando-o resistente à maioria dos ataques químicos (ALI et al., 2021). Estima-se que somente 9% dos resíduos plásticos produzidos no mundo seja reciclado; 19% são incinerados, 50% são destinados a aterros sanitários, e 22% têm seu destino final desconhecido (OECD, 2022). No Brasil, cerca de 4,3 milhões de toneladas de plásticos foram produzidas no ano de 2021, e destas, somente 23,4% foram recicladas (ABIPLAST, 2022).

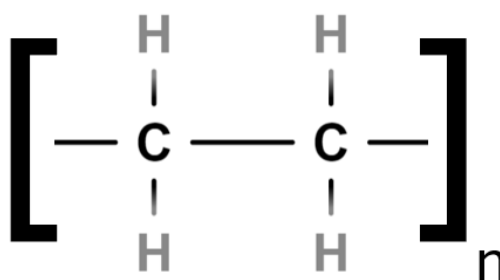


Figura 1. Representação da estrutura química do PE.

No meio ambiente, a degradação de plásticos pode ocorrer com um, ou uma combinação, de quatro principais mecanismos, sendo eles a fotodegradação, a hidrólise, a degradação termo-oxidativa, e a biodegradação. A biodegradação ocorre naturalmente, porém de maneira extremamente lenta, em locais de despejo como aterros e lixões, e é dividida em quatro etapas, sendo a primeira delas nomeada de (i) biodeterioração, na qual ocorrem os processos de colonização e adesão microbiana, com a atuação enzimas extracelulares na superfície do polímero. Isto leva à (ii) biofragmentação do polímero, onde as cadeias poliméricas são clivadas pelas enzimas, dando origem a oligômeros e monômeros. Compostos com massa molar inferior a 500 Da permeiam as paredes e membranas celulares dos microrganismos circundantes, sendo assimilados (iii) e transformados em biomassa, e CO₂ e H₂O, quando na presença de oxigênio, ou biomassa

e CH₄, quando na ausência de oxigênio, durante a etapa de (iv) biomineralização (TOSIN et al., 2019; PIVATO et al., 2022; MONTAZER et al., 2020).

Mais de 30 espécies diferentes de bactérias e fungos têm sido reportadas como capazes de biodegradar PE (KIM E REE, 2003; GAN et al., 2019; EKAYANAKA, et al., 2022; SAEED et al., 2022). Os gêneros bacterianos *Arthrobacter*, *Micrococcus*, *Pseudomonas* e *Rhodococcus*, bem como os gêneros fúngicos *Aspergillus* e *Penicillium*, têm se destacado como os principais biodegradadores deste polímero e foram isolados de diferentes locais, incluindo solo da rizosfera de manguezais, aterros sanitários, água do mar e lixões de plástico (BARDAJÍ et al., 2020).

Fungos têm sido reportados como excelentes biodegradadores de PE (SPINA et al., 2021). Neste sentido, os filamentosos parecem ter uma vantagem fisiológica/estrutural em relação às leveduras e às bactérias, dado que a extensão de crescimento e a formação alongada das hifas contribuem com a sua penetração na superfície do plástico (CASSONE et al., 2020; SHAH et al., 2008). Este fato, possivelmente, reflete o maior número de estudos que avaliam a ação de fungos filamentosos sobre o PE quando comparado com fungos leveduriformes. Além disso, fungos são produtores de enzimas já comprovadas com atividade de biodegradação de PE, como lacases, manganês-peroxidases e lignina-peroxidases (MOHANAN et al., 2020; ELUMALAI et al., 2017; RU et al., 2020; SANTACRUZ-JUÁREZ et al., 2021). As enzimas fúngicas extracelulares ligam-se primeiramente à superfície do polímero e catalisam a clivagem hidrolítica; então, os produtos clivados são utilizados pelos microrganismos em seu metabolismo (DAS et al., 2018). Através deste mecanismo, as enzimas auxiliam nas etapas de biodeterioração e biofragmentação do PE, facilitando a bioassimilação e biomineralização deste polímero, que serão realizadas pelos microrganismos (MOHANAN et al., 2020). Leveduras também são excelentes produtoras de enzimas, podendo atuar na biodegradação de PE (YANG, et al., 2013), e as espécies *C. parapsilosis*, *Rhodotorula mucilaginosa*, *Meyerozyma guilliermondii*, *M. caribbica*, e *Sterigmatomyces halophilus* já foram reportadas com esta capacidade (OLIVEIRA et al., 2022; LOU et al., 2022; VAKSMAA, et al., 2023; ELSAMAHY et al., 2023).

No entanto, o processo de biodegradação ambiental do PE é extremamente lento, tornando seus resíduos plásticos contaminantes ambientais globais (ROY et al., 2011). Nas últimas décadas, alternativas biotecnológicas, como o uso de insetos biodegradadores de plástico, têm sido avaliadas para auxiliar no tratamento destes resíduos (PIVATO et al., 2022). Neste contexto, em 2017 foi reportado pela primeira vez na literatura a

capacidade de larvas de *Galleria mellonella* (Linneu 1758) em consumir PE (BOMBELLI et al., 2017). *Galleria mellonella* é um inseto da ordem Lepidoptera que possui 4 estágios em seu ciclo de vida: ovo, larva, pupa e mariposa (WILLIAMS, 1997). Este inseto é considerado uma praga para apicultura, uma vez que suas larvas se alimentam principalmente de cera de abelha (KWADHA et al., 2017), a qual é composta majoritariamente por substâncias lipídicas, incluindo ácidos graxos de cadeia longa e ésteres, bem como alcanos e alcenos (FRATINI et al., 2016), sugerindo que o mecanismo bioquímico para a digestão dessas substâncias possa estar diretamente envolvido na quebra de ligações químicas presentes no PE (WOJDA et al., 2020; KAIRAT et al., 2019). A fim de verificar a capacidade das larvas em biodegradar PE e excluir a ação mastigatória como a responsável pela quebra do plástico, Bombelli e colaboradores (2017) preparam um homogenato das larvas e aplicaram sobre filmes de PE. Os autores concluíram que a consumo deste plástico ocorria a uma taxa superior do que a reportada por outros insetos conhecidos como biodegradadores deste material (BOMBELLI et al., 2017). Embora não haja um consenso a respeito do papel da microbiota desta larva na biodegradação do PE (LEMOINE et al., 2020; KONG et al., 2019), entende-se que a ação dos microrganismos possa contribuir neste processo (REN et al., 2019; KUMAR SEM et al., 2015); portanto, existe a necessidade de estudos adicionais voltados para este tema. Até o presente momento, somente três trabalhos avaliaram a biodegradação de PE por fungos filamentosos isolados do intestino de larvas de *G. mellonella*: *Aspergillus flavus* testado com polietileno de baixa densidade (PEBD) (RIABI et al., 2023) e polietileno de alta densidade (PEAD) (ZHANG et al., 2020) e *Cladosporium halotolerans*, testado com PEAD (NAPOLI et al., 2023).

Nesse sentido, este trabalho visou avaliar a capacidade de fungos cultiváveis provenientes da microbiota de larvas de *G. mellonella* em biodegradar PEBD. Ainda que a biodegradação de PEAD tenha sido reportada na literatura para fungos filamentosos provenientes da microbiota intestinal de larvas de *G. mellonella* (ZHANG et al., 2020; NAPOLI et al., 2023), é necessário conhecer outros fungos da microbiota de deste animal que possam atuar na biodegradação do PEBD. Adicionalmente, também há a necessidade de otimizar este processo em condições *in vitro* e sugerir a formação de consórcios fúngicos envolvendo os fungos biodegradadores, a fim de melhor mimetizar a ação digestória no animal. O isolamento de novas espécies fúngicas com a capacidade de biodegradar o PE poderá contribuir com o futuro desenvolvimento de soluções

biotecnológicas para diminuir a poluição do meio ambiente causada pelo acúmulo de resíduos plásticos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a capacidade de fungos cultiváveis provenientes da microbiota de larvas de *G. mellonella* em biodegradar PEBD.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Isolar e identificar fungos a partir de glândulas salivares e do intestino de larvas de *G. mellonella*;
- Avaliar a capacidade de biodegradação de PEBD dos fungos isolados de glândulas salivares e do intestino de larvas de *G. mellonella*.
- Indicar possíveis consórcios a partir dos fungos isolados de glândulas salivares e do intestino de larvas de *G. mellonella* para futura avaliação experimental;

3. RESULTADOS

Os resultados obtidos durante o desenvolvimento desta dissertação estão divididos em três capítulos, estruturados na forma de artigo científico seguindo as normas para publicação em revistas de impacto internacional.

O capítulo 1 trata sobre o referencial teórico do trabalho, abordando uma revisão completa da literatura sobre a biodegradação de PE por espécies fúngicas.

O capítulo 2 aborda os resultados obtidos referentes ao isolamento de leveduras a partir das glândulas salivares e do intestino de larvas de *G. mellonella*, e a avaliação da biodegradação de PEBD pelos isolados.

O capítulo 3 apresenta os resultados obtidos referentes ao isolamento de fungos filamentosos a partir das glândulas salivares e intestino de larvas de *G. mellonella*, além de dados referentes à triagem de fungos biodegradadores de PEBD. Uma das perspectivas do capítulo 3 é a formação de consórcios a partir dos fungos isolados das glândulas salivares e intestino de larvas de *G. mellonella*. Estes resultados encontram-se disponíveis no Apêndice I.

CAPÍTULO I

Este capítulo trata sobre o referencial teórico do trabalho, abordando uma revisão completa da literatura sobre a biodegradação de PE por espécies fúngicas.

Ele está redigido na forma de artigo científico em língua inglesa conforme as normas da revista “International Biodeterioration & Biodegradation”. O manuscrito será submetido para publicação em breve.

Título: Polyethylene biodegradation by cultivable fungi: a mini-review

Revista de submissão: International Biodeterioration & Biodegradation

Qualis: A1 (2020)

Fator de Impacto: 4.1 (2024)

Normas da revista para submissão: Anexo II

CAPÍTULO II

Neste capítulo serão abordados os resultados obtidos referentes ao isolamento de leveduras a partir das glândulas salivares e intestino de larvas de *G. mellonella*, e a avaliação da biodegradação de PEBD pelos isolados.

Ele está redigido na forma de artigo científico em língua inglesa conforme as normas da revista “Journal of Environmental Sciences”. O manuscrito será submetido para publicação em breve.

Título do artigo: Yeast species from *Galleria mellonella* larvae as polyethylene biodegraders

Revista de submissão: Journal of Environmental Sciences

Qualis: A1 (2020)

Fator de Impacto: 5.9 (2024)

Normas da revista para submissão: Anexo III

CAPÍTULO III

Este capítulo apresenta os resultados obtidos referentes ao isolamento de fungos filamentosos a partir das glândulas salivares e intestino de larvas de *G. mellonella*, além de dados referentes à triagem de fungos biodegradadores de PEBD.

Ele está redigido na forma de artigo científico em língua inglesa, conforme as normas da revista “Journal of Environmental Sciences”. O manuscrito será submetido para publicação em breve.

Título: Isolation of polyethylene biodegrading filamentous fungi from the salivary glands and gut of *Galleria mellonella* larvae

Revista de submissão: Journal of Environmental Sciences

Qualis: A1 (2020)

Fator de Impacto: 5.9 (2024)

Normas da revista para submissão: Anexo III

4 DISCUSSÃO GERAL

Fungos são considerados excelentes biodegradadores de polímeros em função do crescimento de hifas e a produção de enzimas (OKAL et al., 2023; CASSONE et al., 2020). O uso de fungos como agentes de biodegradação do plástico PE é foco de pesquisa desde 1980, com o estudo de Albertsson avaliando o fungo *Fusarium redolens* e sua capacidade de biodegradação de PEBD e PEAD (ALBERTSSON, 1980). Desde então foram publicados 35 artigos voltados para a biodegradação de PE por diferentes espécies fúngicas, abordando tanto fungos filamentosos como leveduras, conforme relatado no capítulo I desta dissertação. É possível observar uma heterogeneidade nesta área de pesquisa, uma vez que a maioria dos estudos publicados é proveniente de países europeus e asiáticos. Somente um estudo nesta área foi publicado no Brasil até o momento. Trata-se de pesquisadores de Porto Alegre (RS) que isolaram leveduras (*Candida parapsilosis* Y4 e *C. parapsilosis* Y5) a partir de sedimentos marinhos na região do município de Pelotas (RS) e as testaram para biodegradação de PEBD (OLIVEIRA et al., 2022). Ainda, o uso de insetos como fonte de fungos biodegradadores deste polímero é uma área nova a ser explorada, uma vez que insetos consomem plástico rapidamente, e considerando que até o momento somente quatro artigos nesta área foram produzidos (ZHANG et al., 2020; LOU et al., 2022; RIABI et al., 2023; ELSAMAHY et al., 2023). A formação de consórcios também deve ser levada em consideração quando se trata de otimizar o processo de biodegradação de PE, como observado em dois estudos apresentados no capítulo I (DSOUZA et al., 2021; ELSAMAHY et al., 2023).

Poucas espécies de leveduras já foram reportadas como biodegradadoras de PE, como visto no capítulo I desta dissertação. As espécies *C. parapsilosis* (OLIVEIRA et al., 2022), *Rhodotorula mucilaginosa* (VAKSMAA et al., 2023), *Meyerozyma guilliermondii* (LOU et al., 2022; ELSAMAHY et al., 2023), *Sterigmatomyces halophilus* e *Meyerozyma caribbica* (ELSAMAHY et al., 2023) possuem a capacidade de biodegradar este plástico. Dentre elas, *M. guilliermondii*, *M. caribbica* e *S. halophilus* foram isoladas a partir de um cupim. No presente trabalho, foram isoladas pela primeira vez espécies de leveduras (*R. mucilaginosa* e *Moniliella pollinis*) a partir de larvas de *G. mellonella*. Embora *R. mucilaginosa* já tenha sido reportada como capaz de biodegradar PE, não há relatos desta capacidade em *M. pollinis*, fazendo com que este trabalho seja pioneiro no tema. Importante destacar que dentre os grupos de animais alimentados com ração laboratorial, cera de abelha (alimentação natural), filmes de PE ou em jejum,

somente foram isoladas leveduras a partir de larvas alimentadas com PE, indicando o potencial destes microrganismos em digerir este tipo de polímero. Ao longo do capítulo II é possível observar a ação das leveduras *M. pollinis* na estrutura do plástico, evidenciada na triagem de fungos biodegradadores de PE através da liberação de hidrocarbonetos e plastificantes, além da sua atividade de biodegradação completa do polímero através do teste de respirometria. O acúmulo de CO₂ observado e o percentual de biomineralização (21,41±1,56 mg e 5,73%±0,42, respectivamente) evidenciam que leveduras, em especial o isolado *M. pollinis* (GYPE3), podem ter um protagonismo nessa área, uma vez que dos fungos isolados de *G. mellonella* esta foi até então a única espécie comprovadamente a biomineralizar o LPDE ao produto final CO₂. Neste sentido, Zhang e colaboradores (2020) avaliaram o processo de biodegradação de micropartículas de polietileno de alta densidade (PEAD) por *Aspergillus flavus* isolado do intestino de larvas de *G. mellonella* alimentadas exclusivamente com PE durante duas semanas. Os microplásticos foram expostos ao fungo por um período de 28 dias, e após este tempo apresentaram uma redução mássica de 3,9 ± 1,2%. Adicionalmente, também foram observadas alterações nas características químicas estruturais do PE, incluindo o surgimento de grupos hidroxila, carbonila e éter, o que evidencia a biodegradação do PE pelo fungo através de processo oxidativo da cadeia polimérica (ZHANG et al., 2020). Riabi e colaboradores (2023) também isolaram *A. flavus* a partir do intestino de larvas de *G. mellonella*; porém, não obtiveram resultados frente a biodegradação de polietileno de baixa densidade (PEBD) (RIABI et al., 2023). Napoli e colaboradores (2023) isolaram o fungo *Cladosporium halotolerans* a partir do intestino de larvas de *G. mellonella* provenientes de favos de uma colmeia de abelhas da região de Nápoles, Itália. Após 15 dias de cultivo do fungo na presença de PEAD, observou-se perda de peso em 7 ± 0,2 mg e a diminuição de picos característicos de ligações químicas do PE na análise de FTIR (2920 cm⁻¹ e 2852 cm⁻¹), indicando a biodegradação do polímero pelo fungo *C. halotolerans*. Ainda, a atividade de lacase, enzima envolvida na degradação de diversos materiais plásticos, foi observada através do surgimento de cor avermelhada no meio de cultivo (NAPOLI et al., 2023).

Levando em consideração os dados apresentados no capítulo I desta dissertação é possível fazer um comparativo entre as taxas de biodegradação obtidas pela levedura *M. pollinis* e as obtidas a partir de outros fungos reportados como biodegradadores de PE. A levedura *M. pollinis* apresentou taxa de biodegradação (5,73%±0,42) maior das que as reportadas para outros fungos filamentosos, quando em espécie única ou em consórcio

(ALBERTSSON, 1980; MANZUR et al., 2004). Neste contexto, o fungo filamentososo *F. redolens* apresentou uma taxa de biodegradação de apenas $0,15 \pm 0,01\%$ após um período de 100 dias quando testado com filmes de PEBD (ALBERTSSON, 1980), enquanto o consórcio fúngico formado por *A. niger*, *G. virens*, *P. pinophilum* e *P. chrysosporium* biodegradou somente 3,26% de filmes de PEBD tratados com UV após 8 semanas (MANZUR et al., 2004), ambos estudos também utilizaram o ensaio de respirometria. Dos estudos que relataram outras espécies de leveduras como biodegradadoras de PE, a biomineralização não foi utilizada como parâmetro para determinar a biodegradação do plástico, e sim a redução em peso do PE, o acúmulo de biomassa, e a atividade enzimática. Dessa forma, não é possível comparar os resultados obtidos para *M. pollinis* apresentados neste estudo com as demais leveduras reportadas como biodegradadoras de PE. Ainda, o gênero *Moniliella* é conhecido como produtor de eritrol, adoçante artificial utilizado na indústria alimentícia (LIN et al., 2010), sendo a espécie *M. wahieum* já relatada como biodegradadora de biodiesel ($3,56 \times 10^2$ mg/h durante a fase logarítmica) e atuante na corrosão de aço 1080 (70% em 30 dias) (CHING et al., 2016). Este estudo é o primeiro relato da levedura *M. pollinis* agindo como biodegradadora de PE.

O capítulo III aborda sobre fungos filamentosos. Este trabalho isolou pela primeira vez *A. flavus* a partir das glândulas salivares das larvas deste animal. Além disso, este é o primeiro relato de isolamento das espécies *Epicoccum triodiae*, *E. viticis*, *Peniophora lycii*, *Robbauera albescens*, e *A. spathulatus* a partir de larvas de *G. mellonella* e, embora não haja nenhuma publicação que envolva estas espécies atuando na biodegradação de PE, existem relatos dos gêneros *Epicoccum* e *Peniophora* atuando na biodegradação de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) (LEE et al., 2014; LEE et al., 2015; FALLAHI et al., 2023), ainda que de espécies diferentes das isoladas de larvas de *G. mellonella*. O fungo *Epicoccum nigris* degradou 70% de HPAs no solo (FALLAHI et al., 2023), enquanto *Peniophora incarnata*, foi testado com diversos tipos de HPAs obtendo taxas de biodegradação acima de 90% para todos os tipos testados (LEE et al., 2014; LEE et al., 2015).

Este trabalho teve como foco o estudo de fungos cultiváveis em laboratório, no entanto considerando-se que nem todos os microrganismos são cultiváveis, análises de microbioma, através do sequenciamento metagenômico, revelam o conjunto de microrganismos presentes em um organismo (TRINGE et al., 2005). Estudos de metagenômica auxiliam na identificação de microrganismos através de um extenso banco de dados de fácil acesso, sendo uma excelente alternativa para permitir a visualização da

distribuição taxonômica total dos microrganismos de cada amostra analisada (CARDOSO et al., 2011). Nosso grupo de pesquisa conduziu um estudo que avaliou a composição e diversidade do microbioma das glândulas salivares das larvas de *G. mellonella* submetidas a diferentes condições nutricionais (PIVATO et al., Dados não publicados). Larvas alimentadas com dieta laboratorial apresentaram maior abundância de fungos dos gêneros *Moniliella* e *Aspergillus*, enquanto larvas alimentadas com cera de abelha, apresentaram maior abundância de gêneros pertencentes às famílias *Nectriaceae*, *Dipodascaceae* e *Chaetomiaceae*, bem como dos gêneros *Codinaeopsis* (família *Chaetosphaeriaceae*) e *Fusarium* (família *Nectriaceae*) (PIVATO et al., Dados não publicados) (Anexo IV). Neste trabalho, o gênero *Aspergillus* foi isolado a partir das larvas de *G. mellonella*, tanto das glândulas salivares (resultado condizente com os encontrados pela análise metagenômica conduzido pelo nosso grupo de pesquisa) quanto do intestino. Os fungos do gênero *Epicoccum*, que neste trabalho foram isolados a partir das glândulas salivares das larvas alimentadas com cera de abelha, pertencem à família *Didymellaceae*; esta família também foi encontrada no estudo metagenômico conduzido pelo nosso grupo de pesquisa, embora em menor abundância quando comparada com as famílias mencionadas acima. Neste estudo, as leveduras pertencentes a espécie *Moniliella pollinis* foram isoladas tanto de intestino quanto de glândulas salivares de larvas alimentadas com PE. Estes resultados estão de acordo com o estudo metagenômico realizado pelo nosso grupo de pesquisa, no qual o gênero *Moniliella* estava presente em glândulas salivares de larvas alimentadas com dieta laboratorial ou cera de abelha, evidenciando o possível papel deste gênero no processo digestivo do animal.

Os resultados obtidos ao longo da realização deste trabalho são inovadores no isolamento de diferentes espécies provenientes das glândulas salivares e intestino de larvas de *G. mellonella* com o isolamento de 7 diferentes espécies que ainda não foram reportadas como cultiváveis a partir de larvas deste inseto. Além disso, os resultados referentes à biodegradação de PE, realizados até o momento com algumas das espécies fúngicas isoladas, indicam o seu grande potencial para contribuir futuramente com soluções biotecnológicas para o gerenciamento de resíduos plásticos.

5 CONCLUSÕES

- Foram isoladas 16 espécies de fungos a partir das glândulas salivares e intestino de larvas de *G. mellonella*, sendo elas identificadas como:
 - *Aspergillus flavus* (três isolados);
 - *Aspergillus spathulatus* (três isolados);
 - *Epicoccum triodiae* (um isolado);
 - *Epicoccum viticis* (um isolado);
 - *Peniophora lycii* (um isolado);
 - *Robbauera albescens* (um isolado);
 - *Moniliella pollinis* (quatro isolados);
 - *Rhodotorula mucilaginosa* (um isolado);
- Destas, 13 foram isoladas pela primeira vez das larvas deste animal (*A. spathulatus*, *E. triodiae*, *E. viticis*, *P. lycii*, *R. albescens*, *M. pollinis*, e *R. mucilaginosa*);
- Testes preliminares sugerem a capacidade de biodegradação de PE da espécie *A. spathulatus*, espécie ainda não explorada neste processo.
 - A liberação de hidrocarbonetos e plastificantes durante a triagem de fungos biodegradadores indicou a atuação deste fungo na estrutura do polímero;
- A levedura *M. pollinis* foi utilizada para o teste de biodegradação aeróbia e, ao final de um período de 24 dias, foram obtidos $21,41 \pm 1,56$ mg de CO₂ produzido e $5,73\% \pm 0,42$ de biomineralização. Estes resultados são superiores aos de fungos filamentosos já reportados com a capacidade de biodegradação de PE, como o *Fusarium redolens* e o consórcio formado por *Aspergillus niger*, *Gliocladium virens*, *Penicillium pinophilum* e *Phanerochaete chrysosporium*.

6 PERSPECTIVAS

As perspectivas para continuidade deste trabalho são:

- Avaliar a biodegradação aeróbica de PE pela levedura *Rhodotorula mucilaginosa*, apresentada no capítulo II, através da quantificação da liberação de CO₂ pelo consumo de carbono;
- Testar o consórcio de leveduras apresentadas no capítulo II na biodegradação aeróbica de PE, através da quantificação da liberação de CO₂ pelo consumo de carbono;
- Os demais fungos apresentados no capítulo III, além dos consórcios fúngicos sugeridos no capítulo IV, também serão testados para avaliação da biodegradação aeróbica de PE;
- Publicação dos artigos originais (capítulos I, II e III) em revistas de impacto internacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIPLAST. **Perfil** **2022**. Disponível em: <<http://www.abiplast.org.br/publicacoes/perfil-2022/>>. Acesso em: 10 jan. 2024.

ALI, Sameh S.; ELSAMAHY, Tamer; AL-TOHAMY, Rania; ZHU, Daochen; MAHMOUD, Yenia A.; KOUTRA, Eleni; METWALLY, Metwally A.; KORNAROS, Michael; SUN, Jianzhong. Plastic wastes biodegradation: Mechanisms, challenges and future prospects. **Science of Total Environment**, v. 780, p. 146590, 2021.

ALBERTSSON, A. C. THE SHAPE OF THE BIODEGRADATION CURVE FOR LOW AND HIGH DENSITY POLYETHENES IN PROLONGED SERIES OF EXPERIMENTS. **European Polymer Journal**, v. 16, p. 623-630, 1980.

BARDAJÍ, Danae K. R.; MORETTO, Jéssica A. S.; FURLAN, João P. R. A mini-review: current advances in polyethylene biodegradation. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 36-32, 2020.

BELL, D. K.; WELLS, H. D.; MARKHAM, C. R. In Vitro Antagonism of *Trichoderma* species Against Six Fungal Plant Pathogens. **Ecology and Epidemiology**, v. 72, p. 379-382, 1982.

BILLEN, Pieter; KHALIFA, Lana; GERVEN, Fenno V.; TAVERNIER, Serge; SPATARI, Sabrina. Technological application potential of polyethylene and polystyrene biodegradation by macro-organisms such as mealworms and wax moth larvae. **Science of the Total Environment**, v. 735, art. 139521, 2020.

BOMBELLI, Paolo; HOWE, Christopher J.; BERTOCCHINI, Federica. Polyethylene bio-degradation by caterpillars of the wax moth *Galleria mellonella*. **Current Biology**, v. 27, n. 8, p. 292-293, 2017.

CARDOSO, Alexander M.; CAVALCANTE, Janaína J. V.; CANTÃO, Maurício E.; THOMPSON, Claudia E.; FLATSCHART, Roberto B.; GLOGAUER, Arnaldo; SCAPIN, Sandra M. N.; SADE, Youssef B.; BELTRÃO, Paulo J. M. S. I.; GERBER, Alexandra L.; MARTINS, Orlando B.; GARCIA, Eloi S.; SOUZA, Wanderley de; VASCONCELOS, Ana T. R. Metagenomic Analysis of the Microbiota from the Crop of

an Invasive Snail Reveals a Rich Reservoir of Novel Genes. **PLOS ONE**, v. 7, ed. 11, 2011.

CASSONE, Bryan J.; GROVE, Harald C.; ELEBUTE, Oluwadara; VILLANUEVA, Sachi M. P.; LEMOINE, Christophe, M. R. Role of the intestinal microbiome in low-density polyethylene degradation by caterpillar larvae of the greater wax moth, *Galleria mellonella*. **Proceedings of The Royal Society B**, v. 287, ed. 19222020, 2020.

CHING, Travers H.; YOZA, Brandon A.; WANG, Ruijin; MASUTANI, Stephen; DONACHIE, Stuart; HIHARA, Lloyd; LI, Qing X. Biodegradation of biodiesel and microbiologically induced corrosion of 1018 steel by *Moniliella wahieum* Y12. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 108, p. 122-126, 2016.

DAS, Merina P.; KUMAR, Santosh; DAS, Jayabrata. Fungal-mediated deterioration and biodegradation study of low-density polyethylene (LDPE) isolated from municipal dump yard in Chennai, India. **Energy, Ecology and Environment**, v. 3, p. 229–236, 2018.

DSOUZA, Glen C.; SHERIFF, Ryna S.; ULLANAT, Varun; SHRIKRISHNA, Aniruddh; JOSHI, Anupama V.; HIREMATH, Lingayya; ENTOORI, Keshamma. Fungal biodegradation of low-density polyethylene using consortium of *Aspergillus* species under controlled conditions. **Heliyon**, v. 7, ed. 07008, 2021.

EKANAYAKA, Anusha H.; TIBPROMMA, Saowaluck; DAI, Donqin; XU, Ruifang; SUWANNARACH, Nakarin; STEPHENSON, Steven L.; DAO, Chengjiao; KARUNARATHNA, Samantha C. A Review of the Fungi That Degrade Plastic. **Journal of Fungi**, v. 8, ed. 772, 2022.

ELSAMAHY, Tamer; SUN, Jianzhong; ELSILK, Sobhy E.; ALI, Sameh S. Biodegradation of low-density polyethylene plastic waste by a constructed tri-culture yeast consortium from wood-feeding termite: Degradation mechanism and pathway. **Journal of Hazardous Materials**, v. 448, 130944, 2023.

ELUMALAI, Punniyakotti; PARTHIPAN, Punniyakotti. KARTHIKEYAN, Obulisamy P.; RAJASEKAR, Aruliah. Enzyme-mediated biodegradation of long-chain n-alkanes (C₃₂ and C₄₀) by thermophilic bacteria. **3Biotech**, v. 7, art. 116, 2017.

FALLAHI, Maryam; SAREMPOUR, Mohammadsaeed; GOHARI, Amir M. Potential biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and petroleum hydrocarbons by indigenous fungi recovered from crude oil-contaminated soil in Iran. **Scientific Reports**, v. 13:22153, 2023.

FRATINI, Filippo; CILIA, Giovanni; TURCHI, Barbar; FELICIOLI, Antonio. Beeswax: A minireview of its antimicrobial activity and its application in medicine. **Asian Pacific Journal of Tropical Medicine**, v. 9, p. 839–843, 2016.

GAN, Zhiqiang; ZHANG, Houjin. PMBD: a Comprehensive Plastics Microbial Biodegradation Database. **Database**, v. 2019, Article ID baz119, 2019.

KAIRAT, D. D.; KIYAN, V. S.; TODOSIICHUK, T. S.; SMAGULOVA, A. M.; ZHUMALIN, A. K. THE STUDYING OF THE *GALLERIA MELLONELLA* LARVAE GUT MICROBIOME AND DETERMINING ITS SPECIES COMPOSITION. **Herald of Science of S. Seifullin KAZAKH AGRO TECHNICAL UNIVERSITY**, v. 102, n. 3, 2019.

KIM, D. Y.; REE, Y. H. Biodegradation of microbial and synthetic polyesters by fungi. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 61, p. 300–308, 2003.

KONG, Hyun G.; KIM, Hyun H.; CHUNG, Joon-hui; JUN, JeHoon; LEE, Soohuyn; KIM, Hak-Min; JEON, Sungwon; PARK, Seung G.; BHAK, Jong; RUY, Choong-Min. The *Galleria mellonella* Hologenome Supports Microbiota-Independent Metabolism of Long-Chain Hydrocarbon Beeswax. **Cell Reports**, v. 26, p. 2451 – 2464, 2019.

KUMAR SEN, Sudip; RAUT, Sangeeta. Microbial degradation of low density polyethylene (LDPE): A review. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 3, ed. 1, p. 462-473, 2015.

KWADHA, Charles A.; ONG'AMO, George O.; NDEGWA, Paul N.; RAINA, Suresh K.; FOMBONG, Ayuka T. The Biology and Control of the Greater Wax Moth, *Galleria mellonella*. **Insects**, v. 8, ed. 61, 2017.

LEE, Hwanhwi; JANG, Yeongseon.; CHOI, Yong-Seok; KIM, Min-Ji; LEE, Jaejung; LEE, Hanbyul; HONG, Joo-Hyun; LEE, Young Min; KIM, Gyu-Hyeok; KIM, Jae-Jin. Biotechnological procedures to select white rot fungi for the degradation of PAHs. **Journal of Microbiological Methods**, v. 97, p. 56-62, 2014.

LEE, Hwanhwi; JANG, Yeongseon; LEE, Young Min; LEE, Hanbyul; KIM, Gyu-Hyeok; KIM, Jae-Jin. Enhanced removal of PAHs by *Peniophora incarnata* and ascertainment of its novel ligninolytic enzyme genes . **Journal of Environmental Management**, v. 164, p. 10-18, 2015.

LEMOINE, Christophe M. R.; GROVE, Harald C.; Smith, Charlotte M.; CASSONE, Bryan J. A Very Hungry Caterpillar: Polyethylene Metabolism and Lipid Homeostasis in Larvae of the Greater Wax Moth (*Galleria mellonella*). **Environmental Science & Technology**, v. 54 (22), p. 14706-14715, 2020.

LIN, Shie-Jea; WEN, Chiou-Yen; WANG, Pei-Ming; HUANG, Jang-Cheng; WEI, Chi-Liang; CHANG, Jin-Wei; CHU, Wen-Shen. High-level production of erythritol by mutants of osmophilic *Moniliella* sp. **Process Biochemistry**, v. 45, p. 973-979, 2010.

LOU, Hu; FU, Rao; LONG, Tianyi; FAN, Baozhen; GUO, Chao; LI, Lili; ZHANG, Jie; ZHANG, Guocai. Biodegradation of polyethylene by *Meyerozyma guilliermondii* and *Serratia marcescens* isolated from the gut of waxworms (larvae of *Plodia interpunctella*). **Science of The Total Environment**, v. 853, 158604, 2022.

MANZUR, A.; LIMÓN-GONZÁLEZ, M.; FAVELA-TORRES, E. Biodegradation of Physicochemically Treated LDPE by a Consortium of Filamentous Fungi. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 92, p. 265–271, 2004.

MOHANAN, Nisha; MONTAZER, Zahra. SHARMA, Parveen K.; LEVIN, David B. **Microbial and Enzymatic Degradation of Synthetic Plastics**, v. 11, art. 580709, 2020.

RU, Jiakang; HUO, Yixin; YANG, Yu. Microbial Degradation and Valorization of Plastic Wastes. **Frontiers in Microbiology**, v. 11, art. 442, 2020.

MONTAZER, Zahra; HABIBI NAJAFI, Mohammad B.; LEVIN, David B.; Challenges with Verifying Microbial Degradation of Polyethylene. **Polymers**, v. 12, edição 123, 2020.

NAPOLI, Michela Di; SILVESTRI, Brigida; CASTAGLIULO, Giusy; CARPENTIERI, Andrea; LUCIANI, Giuseppina; MARO, Antimo Di; SORBO, Sergio; PEZZELLA, Alessandro; ZANFARDINO, Anna; VARCAMONTI, Mario. High density polyethylene (HDPE) biodegradation by the fungus *Cladosporium halotolerans*. **Microbiology Ecology**, v. 99, p. 1–9, 2023.

OECD, Organization for Economic Co-operation and Development. *Plastic pollution is growing relentlessly as waste management and recycling fall short, says OECD*. Press release. Publicação: 22 de fevereiro de 2022. Disponível em: <<https://www.oecd.org/en/about/news/press-releases/2022/02/plastic-pollution-is-growing-relentlessly-as-waste-management-and-recycling-fall-short.html>>. Acesso em: 22 nov. 2023.

OLIVEIRA, Maiara M.; PROENÇA, Audrey M.; SILVA, Eduardo M.; SANTOS, Francine M. dos; MARCONATTO, Letícia; CASTRO, Aline M. de; SILVA, Renata M. Biochemical features and early adhesion of marine *Candida parapsilosis* strains on high-density polyethylene. **Journal of Applied Microbiology**, v. 132, p. 1954-1966, 2022.

PIVATO, Andressa F.; MIRANDA, Gabriela M.; PRICHULA, Janira; LIMA, Jeane E. A.; LIGABUE, Rosane A.; SEIXAS, Adriana; TRENTIN, Danielle S. Hydrocarbon-based plastics: Progress and perspectives on consumption and biodegradation by insect larvae. **Chemosphere**, v. 293, 133600, 2022.

PLASTICS EUROPE. **Plastics - The Facts 2023**. Disponível em: <<https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-fast-facts-2023/>>. Acesso em: 8 fev. 2023.

REN, Liu; MEN, Lina; ZHANG, Zhiwei; GUAN, Feifei; TIAN, Jian; WANG, Bin; WANG, Jihua; ZHANG, Yuhong; ZHANG, Wei. Biodegradation of Polyethylene

by *Enterobacter* sp. D1 from the Guts of Wax Moth *Galleria mellonella*. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, 2019.

RIABI, Hamed R. A.; MOHAMMADZADEH, Alireza; MIRZAHOSSEINI, Seyed A. H.; CHAHAK, Ali F.; IMANI, Jalil. Isolation of the Gut Microbiome of *Galleria mellonella* Sp. (Lepidoptera: Pyralidae) Larvae and Its Role in the Digestion of Polyethylene Plastic. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 234, art. 523, 2023.

ROY, Prasun K.; HAKKARAINEN, Minna; VARMA, Indra K.; ALBERTSSON, Ann-Christine. Degradable Polyethylene: Fantasy or Reality. **Environmental Science & Technology**, v. 45, p. 4217–4227, 2011.

SAEED, Saira; IQBAL, Atia; DEEBA, Farah. Biodegradation study of Polyethylene and PVC using naturally occurring plastic degrading microbes. **Archives of Microbiology**, v. 204:497, 2022.

SANTACRUZ-JUÁREZ, Ericka; BUENDIA-CORONA, Ricardo, E.; RAMÍREZ, Ramsés E. ;SÁNCHEZ, Carmen. Fungal enzymes for the degradation of polyethylene: Molecular docking simulation and biodegradation pathway proposal. **Journal of Hazardous Materials**, v. 411, art. 125118, 2021.

SHAH, Aamer A.; HASAN, Fariha; HAMEED, Abdul; AHMED, Safia. Biological degradation of plastics: A comprehensive review. **Biotechnology Advances**, v. 26, p. 246–265, 2008.

SPINA, Federica; TUMMINO, Maria L.; POLI, Anna; PRIGIONE, Valeria; ILIEVA, Viktoria; COCCONCELLI, Piersandro; PUGLISI, Edoardo; BRACCO, Pierangiola; ZANETTI, Marco; VARESE, Giovanna C. Low density polyethylene degradation by filamentous fungi. **Environmental Pollution**, v. 274, ed. 116548, 2021.

THIOUNN, Timmy; Smith, Rhett C. Advances and approaches for chemical recycling of plastic waste. **Journal of Polymer Science**, v. 58, p. 1347–1364, 2020.

TOSIN, Maurizio; PISCHEDDA, Alessandro; DEGLI-INNOCENTI, Francesco. Biodegradation kinetics in soil of a multi-constituent biodegradable plastic. **Polymer Degradation and Stability**, v. 166, p. 213-218, 2019.

TRINGE, Susannah G.; RUBIN, Edward M. **Metagenomics: DNA sequencing of environmental samples.** Disponível em <<https://escholarship.org/uc/item/1hg5v2pg#author>>. Acesso em: 22 mar. 2024.

VAKSMAA, Annika; POLERECKY, Lubos; DOMBROWSKI, Nina; KIENHUIS, Michiel V. M.; POSTHUMA, Ilsa; GERRITSE, Jan; BOEKHOUT, Teun; NIEMANN, Helge. Polyethylene degradation and assimilation by the marine yeast *Rhodotorula mucilaginosa*. **ISME Communications**, v. 3, ed. 1, 2023.

WILLIAMS, Jon L. **Insects: Lepidoptera (Moths)**. 1. ed. United States: [s.n.], 1997. p. 121-141.

WEBER, Carina; PUSCH, Stefan; OPATZ, Till. Polyethylene bio-degradation by caterpillars? **Current Biology**, v. 27, R731–R745, 2017.

WOJDA, Iwona; SANTIEC, Bernard; SUŁEK, Michał; KORDACZUK, Jakub. The greater wax moth *Galleria mellonella*: biology and use in immune studies. **Pathogens and Disease**, v. 78, n. 92020, 2020.

ZHANG, Junqing; GAO, Danling; LI, Quanhao; ZHAO, Yixuan; LI, Li; LIN, Hanfeng; BI, Qirui; ZHAO, Yucheng. Biodegradation of polyethylene microplastic particles by the fungus *Aspergillus flavus* from the guts of wax moth *Galleria mellonella*. **Science of the Total Environment**, v. 704, art. 135931, 2020.

ANEXO I

Guia dos autores – Periódico “International Biodeterioration & Biodegradation”



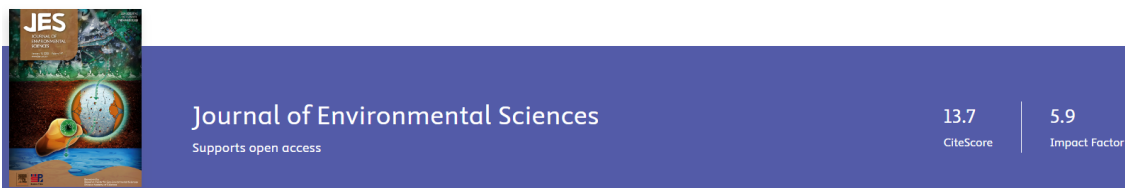
International Biodeterioration & Biodegradation
Supports open access

9.6	4.1
CiteScore	Impact Factor

<https://www.sciencedirect.com/journal/international-biodeterioration-and-biodegradation/publish/guide-for-authors>

ANEXO II

Guia dos autores – Periódico “Journal of Environmental Sciences”



The banner features the JES logo on the left, which includes a globe and a magnifying glass. To the right of the logo, the text reads "Journal of Environmental Sciences" and "Supports open access". On the far right, two metrics are displayed: "13.7 CiteScore" and "5.9 Impact Factor".

JES
Journal of Environmental Sciences
Supports open access

13.7
CiteScore

5.9
Impact Factor

<https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-environmental-sciences/publish/guide-for-authors>

ANEXO III – Currículo Lattes da aluna Maria Luísa de Oliveira



Maria Luísa de Oliveira

Endereço para acessar este CV: <http://lattes.cnpq.br/5940249928474638>

ID Lattes: **5940249928474638**

Última atualização do currículo em 27/11/2023

Atualmente está realizando o Mestrado em Biociências na Universidade de Ciências da Saúde de Porto Alegre (UFCSPA) no grupo de pesquisa Bacteriologia Modelos Experimentais Alternativos (BACMEA) orientada pela professora Dra. Danielle da Silva Trentin e coorientada pela Dra. Gabriela Messias Miranda Menezes. Formada em Biomedicina pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), com habilitação em Análises Clínicas e Biologia Molecular. Realizou Iniciação Científica no Programa de Pós Graduação em Saúde Coletiva da UNISINOS, atuando em projetos relacionados à saúde coletiva, sob orientação da professora Dra. Vera Maria Vieira Paniz. (Texto informado pelo autor)

Identificação

Nome Maria Luísa de Oliveira

Nome em citações bibliográficas OLIVEIRA, M. L.

Lattes ID <http://lattes.cnpq.br/5940249928474638>

Endereço

Formação acadêmica/titulação

- 2022** Mestrado em andamento em BIOCÊNCIAS.
Fundação Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre, UFCSPA, Brasil.
Orientador: Danielle da Silva Trentin.
- 2013 - 2021** Graduação em Biomedicina.
Universidade do Vale do Rio dos Sinos, UNISINOS, Brasil.
Título: AVALIAÇÃO DO POTENCIAL GERMICIDA DO EQUIPAMENTO AIR CLEANER UV-60 EM UM SISTEMA CONTROLADO DE EXPOSIÇÃO BACTERIANA.
Orientador: Tanise Gemelli.
- 2010 - 2012** Ensino Médio (2º grau).
Colégio Imaculada Conceição, CIC, Brasil.

Universidade do Vale do Rio dos Sinos, UNISINOS, Brasil.

Vínculo institucional

2020 - 2020 Vínculo: Monitor de Atividade Acadêmica, Enquadramento Funcional: Auxílio na realização da atividade acadêmica

Outras informações Atuando como monitora da atividade acadêmica de Microbiologia Clínica, auxiliando a professora responsável Tanise Gemelli e os alunos na realização das atividades exigidas pelo currículo da universidade, oferecendo suporte no decorrer das aulas práticas da disciplina.

Vínculo institucional

2019 - 2019 Vínculo: Monitor de Atividade Acadêmica, Enquadramento Funcional: Auxílio na realização da Atividade Acadêmica

Outras informações Atuando como monitora da atividade acadêmica de Microbiologia Clínica, auxiliando a professora responsável Tanise Gemelli e os alunos na realização das atividades exigidas pelo currículo da universidade, oferecendo suporte no decorrer das aulas práticas da disciplina.

Hospital de Clínicas de Porto Alegre, HCPA, Brasil.

Vínculo institucional

2019 - 2019 Vínculo: Estágio, Enquadramento Funcional: Estagiário, Carga horária: 18

Outras informações Estágio I, na área de pesquisa biomédica

Irmandade da Santa Casa de Misericórdia de Porto Alegre, ISCMPA, Brasil.

Vínculo institucional

2021 - 2021 Vínculo: Estágio, Enquadramento Funcional: Estagiário, Carga horária: 30

Outras informações Estágio III, na área de Biologia Molecular

HOSPITAL MATERNO INFANTIL PRESIDENTE VARGAS, HMIPV, Brasil.

Vínculo institucional

2021 - 2021 Vínculo: Estágio, Enquadramento Funcional: Estagiário, Carga horária: 30

Outras informações Estágio IV, na área de Análises Clínicas

Áreas de atuação

1. Grande área: Ciências da Saúde / Área: Medicina / Subárea: Biomedicina.

Idiomas

- Inglês** Compreende Bem, Fala Bem, Lê Bem, Escreve Bem.
- Espanhol** Compreende Razoavelmente, Fala Pouco, Lê Razoavelmente, Escreve Pouco.
- Português** Compreende Bem, Fala Bem, Lê Bem, Escreve Bem.
- Italiano** Compreende Razoavelmente, Fala Razoavelmente, Lê Razoavelmente, Escreve Pouco.

Produções

Produção bibliográfica

Apresentações de Trabalho

1. **OLIVEIRA, M. L.**; PIVATO, A. F.; SILVA, I. O.; CONCATTO, F. R.; MIRANDA, G. M.; TRENTIN, D. S. . Explorando a microbiota fúngica de larvas de Galleria mellonella para a biodegradação de polietileno. 2023. (Apresentação de Trabalho/Congresso).
2. **OLIVEIRA, M. L.**; PIVATO, A. F.; MIRANDA, G. M.; TRENTIN, D. S. . BIOPROSPECTION OF POLYETHYLENE BIODEGRADING-FUNGI FROM THE GALLERIA MELLONELLA LARVAE. 2023. (Apresentação de Trabalho/Congresso).

Eventos

Participação em eventos, congressos, exposições e feiras

1. 32 Congresso Brasileiro de Microbiologia. BIOPROSPECTION OF POLYETHYLENE BIODEGRADING-FUNGI FROM THE GALLERIA MELLONELLA LARVAE. 2023. (Congresso).
2. 32 Congresso Brasileiro de Microbiologia. 2023. (Congresso).
3. III INOVABIOTEC. Explorando a microbiota fúngica de larvas de Galleria mellonella para a biodegradação de polietileno. 2023. (Congresso).
4. I Congresso Brasileiro em Biotecnologias Aplicadas à Saúde. 2022. (Congresso).
5. Biomedicina em Foco. 2020. (Outra).
6. UNISINOS Conecta.Visita na Feira de Profissões. 2020. (Oficina).
7. Aula Inaugural UNISINOS. 2019. (Outra).
8. III Semana Acadêmica do Curso de Farmácia. 2019. (Outra).
9. UNISINOS Conecta.O Gosto Amargo. 2019. (Oficina).
10. I Encontro de Biomedicina Unisinos. 2018. (Encontro).
11. Semana Acadêmica do Curso de Biomedicina. 2018. (Outra).
12. 37ª Semana Científica do HCPA.COMPORTAMENTO ADERENTE A MEDICAMENTOS POR PORTADORES DE ASMA USUÁRIOS DO COMPONENTE ESPECIALIZADO DA ASSISTÊNCIA FARMACÊUTICA NO MUNICÍPIO DE SÃO LEOPOLDO, RS. 2017. (Seminário).
13. Introdução em Atividades de Pesquisa. 2017. (Oficina).
14. Semana Acadêmica do Curso de Biomedicina. 2017. (Outra).
15. UNISINOS Conecta.Oficina de Tipagem Sanguínea. 2017. (Oficina).
16. XXIV Mostra UNISINOS de Iniciação Científica e Tecnológica.PERFIL EPIDEMIOLÓGICO DOS PORTADORES DE ASMA USUÁRIOS DO COMPONENTE ESPECIALIZADO DA ASSISTÊNCIA FARMACÊUTICA NO MUNICÍPIO DE SÃO LEOPOLDO, RS. 2017. (Outra).
17. Semana Acadêmica do Curso de Biomedicina. 2016. (Outra).
18. Semana Acadêmica do Curso de Biomedicina. 2015. (Outra).
19. Semana Acadêmica do Curso de Biomedicina. 2014. (Outra).