



Degradação de Politereftalato de Etileno por *Trametes villosa* em cultivo sólido

BIODEGRADATION OF POLYETHYLENE TEREPHTHALATE BY LIGNINOLYTIC FUNGI

Luan Batista Peres De Abreu*, Daiane Cristina Lenhard Farias[†], Nathalia Francisco Paraizo[‡]

RESUMO

O politereftalato de etileno (PET) é um dos poliésteres mais utilizado atualmente, mas que apresenta muitos malefícios ambientais pela sua baixa biodegradabilidade. O objetivo deste trabalho foi avaliar a biodegradação do PET virgem, irradiado por ultravioleta, pelo fungo ligninolítico *Trametes villosa*. O PET foi recortado na dimensão de 11mm x 11mm e higienizado por álcool 70% e transferido para uma câmara de radiação UV, sendo as amostras retiradas em diferentes intervalos (24h, 48h e 96h). Cinco recortes do PET irradiado foram então distribuídos em placas de Petri contendo substrato Agar Sabouraud Dextrosado e um inoculo ($\approx 1,18 \text{ cm}^2$) do fungo no centro. Também foram realizados ensaios nas mesmas condições utilizando PET não irradiado. As placas foram incubadas a $22 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, e avaliou-se a perda de massa no PET devido à ação do fungo, em diferentes períodos de incubação. As amostras de PET irradiadas apresentaram maior perda de massa que a amostra não irradiada. Mas, em geral, não houve diferença na perda de massa das amostras considerando diferentes tempos de irradiação, sobretudo após 96 dias de incubação. Assim é possível concluir que se poderia utilizar o menor tempo de irradiação (24h), embora testes de otimização desse tempo possam ser realizadas.

Palavras-chave: Polímeros, Fungos ligninolíticos, Ultravioleta

ABSTRACT

Polyethylene Reftalate (PET) is one of the most widely used polyesters today, but it has many environmental hazards due to its low biodegradability. The objective of this study was to evaluate the biodegradation of virgin PET, irradiated by ultraviolet, by the ligninolytic fungus *Trametes villosa*. The PET was cut in the dimension of 11mm x 11mm and sanitized by 70% alcohol and transferred to a UV radiation camera, and the samples were taken at different intervals (24h, 48h and 96h). Five slices of irradiated PET were then distributed in Petri dishes containing Agar Sabouraud Dextrose substrate and one inoculum (1.18 cm^2) of the fungus in the center. Tests under the same conditions were also performed using non-irradiated PET. The plates were incubated at $22 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, and the loss of mass in the PET was evaluated due to the action of the fungus, in different incubation periods. Irradiated PET samples presented greater loss of mass than the non-irradiated sample. However, in general, there was no difference in the loss of mass of the samples considering different irradiation times, especially after 96 days of incubation. Thus, it is possible to conclude that the shorter irradiation time (24h) could be used, although optimization tests of this time can be performed..

Keywords: Polymers, Lignolytic fungi, Ultraviolet

* Engenharia De Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Paraná, Brasil; luanbatista249@gmail.com

[†] Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira; Paraná, Brasil; daianelenhard@gmail.com

[‡] Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira; Paraná, Brasil; naparaizo@hotmail.com



1 INTRODUÇÃO

O politereftalato de etileno (PET) é um poliéster (polímero termoplástico). O PET é considerado o melhor e mais resistente plástico para fabricação de garrafas, frascos e embalagens para refrigerantes, águas, sucos, óleos comestíveis, medicamentos, cosméticos, produtos de higiene e limpeza, destilados, isotônicos, cervejas, entre vários outros (ABIPET).

O PET é produzido pela polimerização em etapas de etilenoglicol e ácido tereftálico. A presença de grandes anéis de benzeno nas unidades de repetição dá ao polímero rigidez e resistência notáveis, especialmente quando as cadeias de polímero estão alinhadas umas com as outras em uma disposição ordenada por estiramento (alongamento). O PET é transformado em um plástico de alta resistência que pode ser moldado por todos os métodos comuns empregados com outros termoplásticos. O PET fundido pode ser moldado por sopro em um recipiente transparente de alta resistência e rigidez que também possui boa impermeabilidade a gases e líquidos, tornando-o amplamente utilizado em garrafas de bebidas carbonatadas e em potes para alimentos processados a baixas temperaturas, além de ser o plástico mais reciclado (KAUFFMAN et al., 2016).

O PET é um composto com baixo índice de biodegradação, acaba trazendo malefícios para o ambiente. Os mecanismos e a cinética de degradação do PET são fortemente afetados pela presença e pelo tipo de comonômero. A degradação também é importante para os processos de reciclagem, pois ela afeta as propriedades finais dos produtos reciclados. Por exemplo, na reciclagem mecânica, é desejável manter as propriedades intrínsecas do material original. A degradação pode ser iniciada por cisalhamento, calor, oxigênio, resíduos de catalisador, etc., conduzindo a degradação mecânica, térmica, química, etc., ou ainda a uma combinação destas (PAOLI, 2009).

A biodegradação de polímeros geralmente se refere ao ataque de microrganismos em materiais à base de polímeros insolúveis em água (plásticos), em vez da clivagem de polímeros solúveis em água (por exemplo, poliácridamidas, polietilenóxidos, etc.). Isso implica que a biodegradação de plásticos é geralmente um processo heterogêneo. Por causa da insolubilidade em água e do tamanho das moléculas de polímero, os microrganismos não são capazes de captar os polímeros diretamente nas células onde a maioria dos processos bioquímicos ocorrem, mas primeiro têm que excretar enzimas extracelulares que despolimerizam os polímeros fora das células (MUELLER, 2006)

Os fungos de decomposição branca são conhecidos pela sua capacidade de degradar compostos lignocelulósicos na natureza, principalmente a madeira. As enzimas fúngicas produzidas extracelularmente podem ser consideradas vantajosas do ponto de vista da manipulação e utilização (JARDIM, 2017).

A biodegradação de garrafas PET por fungos ligninolíticos tem sido avaliada ao longo dos anos. Jara (2007) avaliou o desempenho do cogumelo *Phanerochaete chrysosporium* na degradação de tereftalato de polietileno. A autora verificou alterações na superfície do polímero, com perda de massa polimérica, em PET tratados previamente com radiação UV.

Ao avaliar a biodegradação de PET por *Pleurotus 001*, Silva (2009) verificaram alterações na estrutura do polímero, perda de massa e redução da viscosidade intrínseca. A autora afirma que microrganismos ligninolíticos podem proporcionar um grande progresso na degradação de materiais sintéticos, sendo de grande importância o estudo das condições ótimas destes microrganismos.

Reyes (2003) estudou a degradação de PET por *Pleurotus sajorcaju*, *Pleurotus tailandia*, *Pleurotus sp.*, *Phanerochaete chrysosporium* e *Agaricus campestris* em meio de cultura líquido de sais e verificou que todas



as linhagens promoveram perda de massa de PET. A maior perda de massa observada foi de 6,72 % após 90 dias de incubação com *Phanerochaete chrysosporium*.

A linhagem de *Lentinus edodes* foi avaliada na degradação de PET, previamente irradiado com UV, por Koschevic (2015). Foi verificada uma perda de massa de 1,28% para o PET irradiado por 24h. A autora afirma que, através das microfotografias, foi possível observar a deterioração do material, com a presença de escavações e falhas, assim como a aderência do fungo a matriz polimérica, de forma que o procedimento utilizado para a remoção pode não ser eficiente, fato que deixa vestígios do fungo no interior do PET. Oscilações nas propriedades térmicas e mecânicas do PET também puderam ser observadas, outro indicativo de que o fungo *L. edodes* tem potencial para a aplicação em processo de biodegradação, e a que irradiação UV age de forma favorável a esse processo.

Diante do exposto, pergunta-se: Outros fungos ligninolíticos, como o *Trametes villosa*, são capazes de degradar politereftalato de etileno?

Portanto, este trabalho teve como objetivo a avaliação de perda de massa em amostras de PET, previamente irradiado por UV, por *Trametes villosa* em cultivo sólido.

2 PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS DA PESQUISA

Para os ensaios de degradação foram adquiridas garrafas PET virgem, pré-consumo, de forma a minimizar a provável interferência residual de embalagens pós-consumo, como por exemplo, a aderência de açúcares e resíduos do produto envasado.

O PET ser utilizado nos ensaios de biodegradação foi primeiramente irradiado em câmara de UV acelerada, por 24h, 48h e 96h. As amostras foram recortadas do centro da garrafa (parte mais regular), na forma de quadrados de 11mm x 11mm. Esse tamanho de amostra favorece a disposição das mesmas em placas Petri para degradação em cultura sólida, que foi realizado na sequência da degradação por radiação UV. Também foram realizados ensaios com PET não irradiado para comparação.

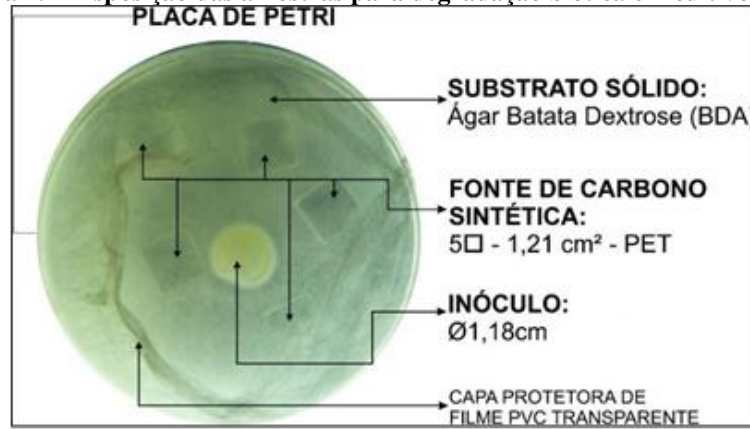
As amostras recortadas foram higienizadas utilizando etanol 70% e secas suavemente utilizando papel toalha macio sendo, na sequência, armazenadas em recipiente fechado e ao abrigo da luz até o momento de sua utilização.

O microrganismo *Trametes villosa* foi cedido pelo Departamento de Biologia da Universidade Estadual de Maringá – UEM, estado do Paraná. Ele foi cultivado em placas-de-Petri preparadas com o substrato sólido Agar Sabouraud Dextrosado (Biolog) e deixado para crescimento em estufa climatizada a 22 ± 2 °C por 21 dias, em seguida, as placas foram acondicionadas em geladeira a $5^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$.

Após o crescimento em placas de Petri, o microrganismo foi utilizado para a degradação das amostras PET. Para essa etapa, o inóculo $\varnothing 1,18 \text{ cm}^2$ do fungo *T. villosa* foi adicionado no centro de uma placa de Petri contendo substrato sólido Agar Sabouraud Dextrosado (Biolog) e cinco amostras de PET, previamente pesadas e esterilizadas, foram distribuídas na mesma placa, conforme pode ser visualizado na Fig. 1.

As placas foram incubadas a 22 ± 2 °C e foi avaliada a perda de massa por gravimetria (em percentual) das amostras de PET, após determinados períodos. Foram realizados ensaios controle, em placas contendo as amostras de PET, no entanto sem o inóculo do fungo, e em placas contendo o inóculo do fungo, sem amostras PET. Todos os ensaios foram realizados em triplicata.

Figura 1. - Disposição das amostras para degradação biótica em cultivo sólido.

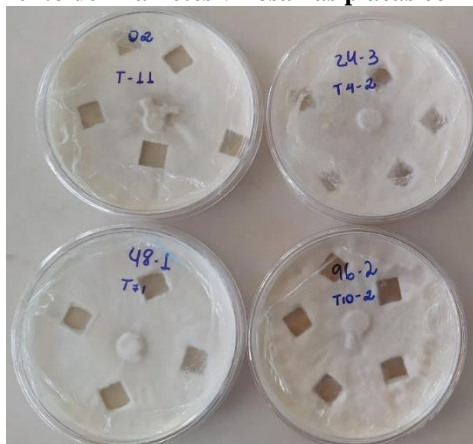


Fonte: Adaptado de KOSCHEVIC (2015).

3 RESULTADOS

Na figura 2 está demonstrado o crescimento no fungo em placas contendo as amostras de PET, com diferentes tempos de irradiação, após 28 dias de incubação (menor tempo avaliado). Verifica-se que o fungo estava totalmente crescido sobre a placa e avançando sobre as amostras de PET.

Figura 2. Crescimento de *Trametes villosa* nas placas com amostras de PET.



Fonte: Autoria própria (2021).

Os resultados de porcentagem de perda de massa do PET estão apresentados na Fig 3. Para todas as amostras de PET, independentemente do tempo de irradiação, observou-se que houve um aumento na perda de massa do PET com o tempo de incubação. Pela figura 3, foi possível observar que após 28 dias de incubação o fungo já havia coberto toda a placa, portanto, nos intervalos que se seguiram, o crescimento do fungo avançou sobre as placas de PET, promovendo a degradação destas, verificado pela perda de massa.

Ainda, foi possível verificar que a irradiação do PET influencia na degradação pelo fungo, uma vez que as menores perdas de massa foram verificadas para o pet não irradiado (0h de irradiação). No entanto, para esses ensaios, não se verificou uma relação entre maiores tempos de radiação e maior perda de massa, uma vez que



após 94 dias de incubação a perda de massa foi semelhante para os PET irradiados por 24h, 48h e 96h (aproximadamente 2,4%).

Figura 3. Perda de massa das amostras de PET em diferentes períodos de incubação, para os amostras irradiadas por: □ 0h, • 24h, ◇ 48h, e △ 96h.



Fonte: Autoria própria (2021)

Resultados semelhantes foram obtidos por Koschevic (2015), ao avaliar a degradação de PET irradiado pelo fungo *Lentiula edodes*. A autora verificou menor perda de massa utilizando o PET sem irradiação (<0,5%) e maior perda de massa para PET irradiado por 24h ($\approx 1,6\%$).

4 CONCLUSÃO

Apesar das taxas de perda de massa terem sido baixas, verifica-se o potencial do fungo em degradar o Politereftalato de Etileno, principalmente quando o PET é irradiado com UV antes do processo de biodegradação.

Embora seja um resultado preliminar, verifica-se que um aumento no tempo de radiação do PET não resultou em maior perda de massa, indicando que se poderia utilizar o menor tempo de radiação, ou seja, 24h.

Novos estudos, no entanto, são necessários para melhoria das metodologias, estudos de outras linhagens fúngicas, estudo com outros meios de cultura, assim como a otimização do tempo de radiação.

REFERÊNCIAS

- ABIPET. Resina PET - **O que é PET?** Disponível em: <http://abipet.org.br/index.html?method=mostrarInstitucional&id=81>. Acesso em 01/08/2021.
- JARA, Alícia Maria Andrade Torres. **Biofilmes e enzimas sintetizados no processo de degradação do tereftalato de polietileno por bacillus subtilis e phanerochaete chrysosporium**. 2007, 88 f. Dissertação (Mestrado - Pós-Graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais).



Universidade Católica de Pernambuco. Recife, 2007. Disponível em:

<http://tede2.unicap.br:8080/handle/tede/595>. Acesso em 10/07/2021.

JARDIM, V. L., **Aplicação dos fungos de podridão branca na degradação de 4 - nonilfenol, 4 - octilfenol e bisfenol - A e avaliação da redução da atividade estrogênica pela linhagem celular MCF - 7** bus. 2017. Tese (Doutorado Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo).

UNICAMP– Campinas, SP, 2017. Disponível em:

http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/322046/1/Jardim_ValeriadeLima_D.pdf. Acesso em 21 de agosto de 2021.

KAUFFMAN, G. B., GENT, A. N., BIERWAGEN, G. P., STEVENS, M. P., PRESTON, J., RODRIGUEZ, F. **Major industrial polymers**. In: Encyclopædia Britannica (online). 2016.

Disponível em: <https://www.britannica.com/topic/industrial-polymers-468698>. Acesso em: 10/08/2021.

KOSCHEVIC, M. T. **Degradação biótica do politereftalato de etileno irradiado por ultravioleta com a utilização do fungo ligninolítico Lentinula edodes**. 2015, 158 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira – PR - Brasil, 2015. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/2922>. Acesso em 10/07/2021.

MUELLER, R.-J. **Biological degradation of synthetic polyesters—Enzymes as potential catalysts for polyester recycling**. *Process Biochemistry*, [s. l.], v. 41, n. 10, p. 2124–2128, 2006.

DOI 10.1016/j.procbio.2006.05.018. Disponível em:

<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=aph&AN=22394824&lang=pt-br&site=eds-live&scope=site>. Acesso em: 20 ago. 2021.

PAOLI, Marco-Aurélio. **Degradação e estabilização de polímeros**. Chemkeys, 2ª edição online (revisada), 221p, 2008. Disponível em: <http://www.chemkeys.com/blog/wp-content/uploads/2008/09/polimeros.pdf>. Acesso em 11/08/2021.

REYES, L. F. **Estudo da degradação de Polietileno Tereftalato (PET) por Fungos Basidiomicetes Lignofílicos**. 2003. 104f. Dissertação Mestrado em Ciência de Alimentos - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003. Disponível em:

<http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/254763>. Acesso em 20/08/2021.

SILVA, K. R. I. **Biodegradação de Polietileno Tereftalato (PET) por fungos ligninolíticos**. 2009, 193 f. Dissertação (Mestrado - Ciência de Alimentos - Faculdade de Engenharia de Alimentos). Universidade Estadual de Campinas. Campinas/SP. Brasil, 2009. Disponível em:

http://taurus.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/254727/1/Silva_KethlenRoseInacioda_M.pdf. Acesso em 20/08/2021.