

Biodegradação de Politereftalato de Etileno por fungos ligninolíticos

Biodegradation of Polyethylene Terephthalate by ligninolytic fungi

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 foi transferido para uma câmara de radiação UV. Cinco recortes do PET irradiado seriam então distribuídos em placas de Petri contendo substrato Agar Sabouraud Dextrosado e um inoculo ($\approx 1,18 \text{ cm}^2$) do fungo no centro. As placas seriam, então, incubadas a $22 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, para crescimento do fungo e posterior avaliação da perda de massa no PET devido à ação do fungo. Os ensaios não foram finalizados devido a imposição de isolamento devido a pandemia por COVID-19.

PALAVRAS-CHAVE: Polímeros. *Trametes villosa*. Ultravioleta.

ABSTRACT

Polyethylene terephthalate (PET) is one of the most used polyesters nowadays, but it presents many environmental damages due to its low biodegradability. The objective of this work 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 would be transferred to a UV radiation camera. Five cuttings of the irradiated PET would then be distributed in Petri dishes containing Agar Sabouraud Dextrosed substrate and an inoculum ($\approx 1,18 \text{ cm}^2$) of the fungus in the center. The plates would then be incubated at $22 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, for fungus growth and later evaluation of the loss of mass in the PET due to the fungus action. The trials were not finalized due to the imposition of isolation due to pandemic by COVID-19.

KEYWORDS: Polymers. *Trametes villosa*. Ultraviolet.

Luan Batista Peres De Abreu
luanbatista249@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal
Do Paraná, Medianeira, Paraná,
Brasil

Daiane Cristina Lenhard Farias
daianelenhard@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal
Do Paraná, Medianeira, Paraná,
Brasil

Nathalia Francisco Paraizo
naparaizo@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal
Do Paraná, Medianeira, Paraná,
Brasil

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

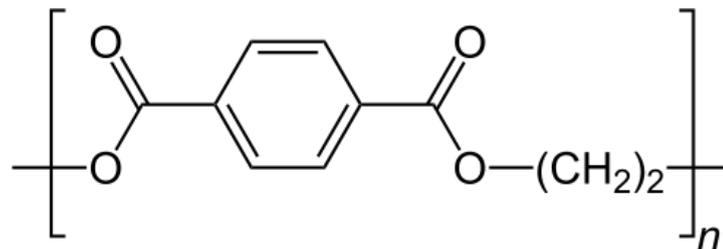


INTRODUÇÃO

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). A sua estrutura química pode ser visualizada na figura 1.

Figura 1 – Estrutura química do politereftalato de etileno – PET.



Fonte: Adaptado de SARANTÓPOULOS *et al.* (2002).

Historicamente, 90% do consumo de PET no Brasil é utilizado para a produção de bebidas e embalagens de alimentos (refrigerantes, água, óleo comestível etc.). Em 2011, esse valor atingiu 515 Ktons. (ABIPET, 2013).

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 co-mônômero. 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, 2008).

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 sajor caju*, *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.

Dessa forma, este trabalho teve como objetivo a avaliação de perda de massa e de propriedades estruturais de PET, previamente irradiado por luz UV, por *Trametes villosa* em cultivo sólido. Por conta da imposição do isolamento social devido a pandemia por COVID-19 não foi possível realizar os experimentos de degradação do PET, sendo realizadas apenas as etapas de preparo da amostra e repicagem da linhagem fúngica.

MATERIAL E MÉTODOS

Para os ensaios de degradação foram adquiridas garrafas PET virgem, pré-consumo, conforme pode ser visualizado na figura 2a, 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 seria primeiro irradiado em câmara de UV acelerada. As amostras foram recortadas do centro da garrafa (parte

mais regular), na forma de quadrados de 11mm x 11mm, cuja visualização está disponível na figura 2b. Esse tamanho de amostra favorece a disposição das mesmas em placas Petri para degradação em cultura sólida, que seria realizado imediatamente na sequência da degradação por radiação UV.

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.

Figura 2 - PET virgem a) Original b) Recortado e higienizado.



Fonte: Autoria própria (2020).

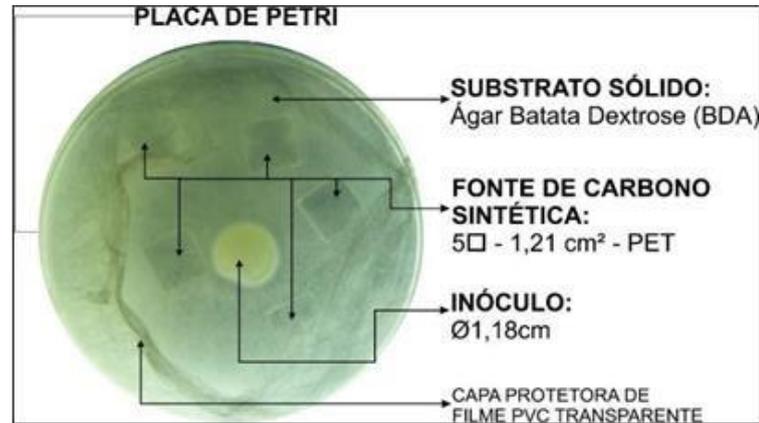
As linhagens fúngicas para os ensaios de biodegradação foram cedidas pelo Departamento de Biologia da Universidade Estadual de Maringá – UEM, estado do Paraná.

O microrganismo *Trametes villosa* foi selecionado para os ensaios, sendo cultivado em placas-de-Petri (90x15mm) preparadas com um substrato sólido Agar Sabouraud Dextrosado (Biolog), deixados para crescimento em estufa climatizada a 22 ± 2 °C por 21 dias, em seguida, acondicionados em geladeira a $5^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$.

Após o crescimento em placas de Petri, o microrganismo seria utilizado para a degradação das amostras PET. Para essa etapa, o inóculo $\varnothing 1,18$ cm² do fungo *T. villosa* seria adicionado no centro de uma placa de Petri contendo substrato sólido Agar Sabouraud Dextrosado (Biolog) e cinco amostras de PET, previamente pesadas e esterilizadas, seriam distribuídas na mesma placa, conforme pode ser visualizado na Figura 3.

As placas seriam incubadas a 22 ± 2 °C e a degradação do PET seria analisada após determinados períodos de tempo. Após o período de incubação, seria analisada a perda de massa por gravimetria (em percentual) das amostras de PET. Também seria realizada a análise do grau de cristalinidade (α_c) das amostras submetidas a degradação, calculado a partir das curvas de DSC, e a análise de TG/DTG das mesmas amostras.

Figura 3. - Disposição das amostras para degradação biótica em cultivo sólido.



Fonte: Adaptado de KOSCHEVIC (2015).

Os ensaios de degradação do PET, no entanto, não foram realizados pois houve um atraso no recebimento das linhagens fúngicas, que ocorreu em fevereiro de 2020, quando iniciou-se a preparação do material para repicagem dos fungos, que foi realizada em março. Após o período de crescimento da primeira repicagem dos fungos, que foi realizada em março. Após o período de crescimento da primeira repicagem da linhagem dos fungos, já havia imposição do isolamento social devido à pandemia do vírus COVID-19, e não foi possível realizar os ensaios de degradação do PET.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com resultado preliminar verifica-se um bom crescimento do microrganismo nas condições propostas (meio, temperatura, tempo de incubação), conforme pode ser Figura 4.

Figura 4. Crescimento de *Trametes villosa* em cultivo sólido.



Fonte: Autoria própria (2020).

No entanto, não foi possível obter resultados de degradação do PET, pelos motivos que foram expostos anteriormente. Entretanto, haverá continuação da pesquisa e a partir dos experimentos propostos espera-se verificar perda de massa no PET, além de modificações na estrutura do mesmo, a partir dos ensaios de degradação com o fungo *Trametes villosa*.

CONCLUSÕES

Apesar da Iniciação científica não ter contribuído com resultados específicos da degradação do PET pelo microrganismo, ela contribui para a formação do aluno, a partir de extensa pesquisa bibliográfica e planejamento dos ensaios a serem realizados.

Além disso, a pesquisa bibliográfica realiza aponta que a degradação do PET por microrganismos é algo promissor e que precisa ser mais amplamente estudada.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Medianeira por todo apoio técnico e tecnológico, assim colaborando na pesquisa científica dos programas de iniciação científica da UTFPR.

REFERÊNCIAS

ABIPET. **Resina PET - O que é PET?** Disponível em:

<http://abipet.org.br/index.html?method=mostrarInstitucional&id=81>. Acesso em 01/08/2020.

ABIPET. 2013. **Indústria do PET no Brasil** - Market, Perspective, recycling. Disponível em:

<http://abipet.org.br/uploads/File/Market%20Overview%202013.pdf> . Acesso em 01/08/202 .

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 10/07/2020.

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_ValeriadeLi_ma_D.pdf . Acesso em 24 De Agosto de 2020.

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: 10/08/2020.

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 10/07/2020.

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: 26 ago. 2020.

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 11/08/2020.

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 20/08/2020.

SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; OLIVEIRA, L. M.; PADULA, M.; COLTRO, L.; ALVES, R. M. V.; GARCIA, E. E. C. **Embalagens plásticas flexíveis: Principais polímeros e avaliação de propriedades**. CETEA/ITAL, Campinas - SP, 2002, 1ª Edição, 267p.

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://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/254727>. Acesso em 20/08/2020.