

ESCOLA LOURENÇO CASTANHO  
PROJETO CIENTÍFICO

**SUSTENTABILIDADE NA ESCOLA: PRODUÇÃO DE FILAMENTOS PARA  
IMPRESSORA 3D A PARTIR DE GARRAFAS PET**

Donatello Vatanabe Reyman  
Gustavo Frug Mauro

Orientadora: Amanda da Anunciação Farhat

São Paulo  
Novembro de 2022

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo pesquisar sobre as características do PET, com o foco na criação de um maquinário capaz de transformar o polietileno tereftalato em filamentos para impressoras 3D, que seriam posteriormente transformados em kits para a educação no ensino básico. Dessa forma, possibilitando transformar o lixo plástico em algo que pode se tornar material de ensino.

Palavras-chave: plástico, produção de filamentos, descarte do plástico, reciclagem.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	3
2	OBJETIVOS.....	5
3	JUSTIFICATIVA.....	6
4	REVISÃO TEÓRICA .....	7
5	METODOLOGIA .....	10
6	MAQUINARIA .....	12
6.1	Sistema filetador .....	12
6.2	Sistema extrusor .....	12
6.3	Impressão .....	13
	REFERÊNCIAS.....	15

## 1 INTRODUÇÃO

Um dos materiais mais utilizados nas últimas décadas e com grande aumento em sua produção é o plástico, que é produzido a partir de polímeros com diferentes tipos de composição química.

Polímeros são moléculas relativamente grandes, com massa molecular entre  $10^3$  e  $10^6$  g/mol, e que possuem uma estrutura constituída de unidades químicas (meros) simples repetidas. <sup>[1]</sup>

Inicialmente, é preciso dividir os polímeros em dois grupos: polímeros naturais, como o látex, o amido, a celulose e as proteínas, e polímeros sintéticos, como o poliestireno, o policloreto de vinila (PVC), o polietileno (PET) e o Nylon-6,6. <sup>[1]</sup>

Muitos desses polímeros são produzidos a partir de derivados do petróleo, e os plásticos produzidos a partir desses polímeros são: 1) Tereftalato de Polietileno (PET/PETE); 2) Polietileno de Alta Densidade (PEAD); 3) Policloreto de Vinila (PVC); 4) Polietileno de Baixa Densidade (PEBD); 5) Polipropileno (PP); 6) Poliestireno (PS); 7) outros <sup>[1]</sup>.

Dentre esses, apenas os polímeros do tipo 7, classificados como “outros”, não são recicláveis <sup>[2]</sup>. Existem também plásticos derivados de celulose e amido, e estes são classificados como biodegradáveis <sup>[3]</sup>.

O plástico é muito utilizado com diferentes fins de acordo com as suas diversas características, tais como durabilidade, maleabilidade e custo benefício <sup>[4]</sup>, contudo, essas mesmas características podem apresentar desvantagens, principalmente, quando o plástico passa a ser utilizado em larga escala. Nesse contexto, é correto afirmar que a durabilidade do plástico é a causa de um dos maiores problemas ambientais da sociedade atual, a poluição marinha <sup>[4]</sup>.

Esse problema surge devido à falta de um sistema efetivo de coleta e de reciclagem do plástico, sendo que estudos mostram que, anualmente, são despejados cerca de oito milhões de toneladas de plástico no oceano <sup>[5]</sup>.

No Brasil, por exemplo, são reciclados apenas 1,3% de todo o plástico produzido,<sup>[6]</sup> estando o restante espalhado no meio ambiente aquático e terrestre, podendo permanecer nele até 450 anos <sup>[7]</sup>.

Dessa forma, o acúmulo de plástico do meio ambiente se torna um problema social de grande magnitude e que requer soluções, como, por exemplo, a criação de

enzimas que degradam PET, por um time de cientistas da *University of Texas at Austin* [8].

Considerando o grande impacto ambiental que o uso excessivo de recursos naturais, como o petróleo, tem ocasionado, este trabalho teve como objetivo estudar e definir uma nova possibilidade de coletar e transformar parte do resíduo plástico gerado em uma escola localizada no bairro da Vila Nova Conceição, em São Paulo, em filamentos de impressoras 3D, com o intuito de reduzir o impacto do descarte incorreto do plástico, resultando em uma menor poluição do meio ambiente, além de produzir novos objetos que podem ser utilizados pela comunidade escolar.

Para isso, uma pesquisa a respeito da viabilidade de tais ideias foi produzida a partir de estudos já presentes na literatura e das características físico-químicas dos polímeros presentes nos diversos tipos de plásticos.

## 2 OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo geral utilizar parte do resíduo plástico gerado pelos alunos da Escola Nova Lourenço Castanho (São Paulo) como matéria prima para a criação de filamentos para impressoras 3D com o intuito de reaproveitar parte do plástico poluente descartado e produzir novos objetos para uso escolar, em forma de kits de materiais para o ensino básico.

Como objetivos específicos, o trabalho procurou descobrir se é possível e viável utilizar garrafas do tipo PET para a criação de filamentos para impressora 3D, para então a criação de kits de materiais para o ensino básico, que seriam distribuídos para escolas em necessidade, que incluiria os materiais para ensino básico que as escolas necessitassem, como material dourado, formas geométricas bidimensionais e tridimensionais para aulas de geometria e peças de material escolar (como régua). Para isso, foi importante determinar as características físico-químicas do Polietileno Tereftalato (PET), como estabilidade térmica, maleabilidade, ponto de fusão, ponto de ebulição, entre outros.

### 3 JUSTIFICATIVA

Em 2015, foram estabelecidos pela ONU 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que espera-se que sejam cumpridos até 2030. Dentre estes, o ODS de número 14, que busca preservar a vida na água, está diretamente ligado ao tema central do projeto. Mais especificamente, nosso trabalho foca na meta 1.1 <sup>[9]</sup>, que aborda a densidade de detritos plásticos que acabam no oceano.

Muitas vezes, ao pensarmos no assunto, não temos completa noção da gravidade de um problema diretamente ligado à vida do nosso planeta. Estatisticamente, cerca de 85% dos animais que ingeriram lixo nos oceanos estão em risco de extinção<sup>[10]</sup>. Ademais, uma vez que espécies de peixes e outros animais marinhos estão incluídos na nossa dieta <sup>[4]</sup>, o problema se torna ainda pior, pois afeta, também, nós seres humanos.

Hoje, qualquer tipo de lixo plástico despejado incorretamente, seja na rua ou na escola, resulta no acúmulo de matéria inorgânica nos oceanos, de modo a gerar impactos nos ecossistemas marinhos<sup>[4]</sup>. Logo, é de extrema importância que formas de reciclar e reduzir a quantidade de plástico descartado sejam encontradas. Nesse contexto, nosso projeto foi pensado para trazer uma realidade ecológica ao cenário escolar, a partir de máquinas que transformam o resíduo plástico em filamentos para impressoras 3D.

Desse modo, além de conscientizar todos na escola sobre um gravíssimo problema, é possível transformar o que seria um impacto ecológico em uma forma de ensino, a partir da transformação do filamento reciclado em kits de ensino básico para escolas e alunos em necessidade. Afinal, muitas escolas não possuem os recursos para o ensino de crianças, e dessa forma pode-se reduzir esse problema.

## 4 REVISÃO TEÓRICA

O plástico, por ser muito utilizado na sociedade contemporânea <sup>[4]</sup>, foi objeto de pesquisa para diversos estudos. Apesar disso, devido a variedade de usos do plástico, os artigos e documentários escritos sobre ele e suas características abrangem muitos aspectos. Para auxiliar e enriquecer a produção deste trabalho, foram consultados materiais da literatura sobre o tema, englobando as características dos diferentes tipos de plástico, os impactos ambientais de sua produção em larga escala, as estatísticas de produção e reciclagem de plástico no Brasil e as soluções e meios conhecidos para a reciclagem e o reaproveitamento de plásticos em pequena escala.

Tendo como foco a reutilização de plásticos utilizados no dia a dia e que podem ser reciclados, inicialmente foi considerada a classificação da NBR 13.230 da ABNT, que divide os plásticos em 7 grupos: 1) Tereftalato de Polietileno (PET/PETE); 2) Polietileno de Alta Densidade (PEAD); 3) Policloreto de Vinila (PVC); 4) Polietileno de Baixa Densidade (PEBD); 5) Polipropileno (PP); 6) Poliestireno (PS); 7) outros <sup>[11]</sup>.

Sobre isso, também destaca-se que apenas os plásticos pertencentes à classificação 7, “outros”, não são recicláveis<sup>[2]</sup>, e que existem também a classificação de biodegradáveis, termoplásticos e termofixos <sup>[12; 13]</sup>.

Pesquisas aprofundadas revelaram que os plásticos biodegradáveis são aqueles que se degradam a partir de ações de microrganismos vivos ou enzimas <sup>[3]</sup>, que os termoplásticos são polímeros que podem ser moldados a partir de certa temperatura, além de poderem ser reciclados de forma indefinida, e que os termofixos são polímeros que por possuírem ligações cruzadas, não se tornam maleáveis à altas temperaturas <sup>[3]</sup>.

Ademais, os polímeros biodegradáveis podem ser separados em dois grupos: naturais e sintéticos.

Os naturais são caracterizados por serem formados durante o ciclo de crescimento de organismos vivos. Sua formação geralmente envolve reações catalisadas por enzimas e reações de crescimento de cadeia a partir de monômeros ativados, que são formados dentro das células por processos metabólicos complexos. Dentre estes, estão polissacarídeos, ácidos algínicos, polipeptídeos naturais e poliésteres bacterianos. Os poliésteres bacterianos, também denominados de PHAs poli(hidroxicanoatos) ou biopolímeros/bioplásticos, abrangem o PHB poli( $\beta$ -hidroxibutirato) e PHB-V poli(hidroxibutirato-co-valerato), sendo o último conhecido

comercialmente como Biopol. Estudos revelam que o PHB-V é uma ótima opção, pois tem alta resistência à água em ebulição, boa capacidade de adesão e baixa permeabilidade ao oxigênio<sup>[3]</sup>.

Já os sintéticos são ésteres alifáticos biodegradáveis, pois têm cadeias carbônicas hidrolisáveis, além de poderem ser degradados por enzimas. O PLA, PGA e PGLA são muito utilizados em pílulas de medicações por serem biodegradáveis à fluidos corporais. Ademais, o PCL também é uma boa opção, biodegradado através de hidrólise enzimática, por fungos<sup>[3]</sup>.

Apesar de existirem plásticos biodegradáveis, a maior parte do plástico utilizado na sociedade é o plástico comum, pois plásticos biodegradáveis possuem um custo maior que o do convencional, e devido a isso, um grande acúmulo de lixo plástico é gerado, pois garrafas plásticas, por exemplo, levam cerca de 450 anos para serem decompostas<sup>[14]</sup>

O plástico classificado como grupo 1 (PET) é um dos mais utilizados na sociedade contemporânea, tendo 2,6 milhões de toneladas produzidas só em 2015, por sua utilização em embalagens, e devido a isso seu descarte é colossal<sup>[23]</sup>. Seu uso extensivo deve-se a sua alta resistência e sua facilidade de manuseamento. A respeito disso, a impressão 3D pode ser uma possível solução para o descarte excessivo de PET, tendo em vista que já foram produzidos filamentos para impressoras 3D a partir de garrafas de Polietileno Tereftalato <sup>[23]</sup>.

O PET pode ser produzido a partir de duas formas químicas diferentes. A primeira consiste na reação de esterificação direta do ácido tereftálico purificado (PTA) com etilenoglicol (EG), já a segunda consiste na transesterificação do dimetil tereftalato (DMT) com etilenoglicol (EG). Contudo, ambas possuem como etapas finais da produção do PET reações de pré-policondensação e policondensação, que determinam as propriedades finais do material, como sua viscosidade intrínseca e massa molar <sup>[23, 25]</sup>.

O processo de reciclagem do plástico pode ser entendido como a recuperação de fragmentos ou resíduos plásticos, além do reprocessamento do material para a fabricação de outros produtos, sejam eles semelhantes ou não <sup>[23, 26]</sup>.

Existem quatro tipos de reciclagem do plástico, mas o PET é reciclado entre as duas primeiras formas, a reciclagem primária e a reciclagem secundária. A primeira das quatro é a reciclagem mecânica, e a segunda é a reciclagem física. A diferença

entre elas é que a primária é utilizada para a reciclagem de polímeros pós-industriais, e a secundária é utilizada para a reciclagem de polímeros pós-consumo [23].

De forma mais específica, a reciclagem primária, também chamada de re-extrusão ou processo em ciclo fechado, é a reciclagem de materiais com propriedades semelhantes às matérias virgens de um único tipo de polímero não contaminado [23]. Enquanto isso, a reciclagem secundária consiste em transformar um material, através de processos mecânicos, em um material de qualidade inferior, contudo, a respeito dos plásticos, esse processo só pode ser realizado em plásticos de um só polímero [23].

Além disso, os processos básicos presentes na reciclagem secundária normalmente são a trituração, a separação, a lavagem e a extrusão [23, 29, 30]. Contudo, a reciclagem secundária de garrafas de plástico, após o processo de separação, passam por processos de limpeza, trituração e peletização [23, 31].

É importante saber que o número de reciclagens de uma mesma garrafa é limitado, pois existe uma degradação entre ciclos [23].

O uso do PET como filamentos para impressora 3D, porém, exige cuidados adicionais. Estudos indicam que o Politereftalato de Etileno se apresenta estável quando aquecido a temperaturas abaixo de 230 °C[24]. No caso de impressoras 3D e criação de filamentos, o uso de extrusoras é necessário[23]. Estas, por sua vez, submetem o plástico a temperaturas por volta do ponto de fusão: cerca de 260 °C[27], que é acima do recomendado.

Quando empregados a temperaturas muito altas, o PET pode liberar oligômeros cíclicos de primeira e segunda série, como também oligômeros alicíclicos da segunda série. Estudos de toxicidade aguda com extratos de PET apresentaram valores de Dose Letal 50 (DL50) acima de 10.000 mg/kg pc [28]. Ademais, estudos sobre a estabilidade térmica do PET ressaltam a formação de substâncias voláteis (acetaldeído e dióxido de carbono, principalmente), formação de anidridos, de ácido tereftálico e de oligômeros previamente mencionados [32,33].

O maquinário final foi separado em várias partes. A primeira, um filetador de garrafas PET, que tem como função transformar a garrafa em compridas tiras de plástico. A partir disso, na segunda parte, os filetes são direcionados a uma extrusora, onde são aquecidos e finalmente transformados no filamento. Para tanto, usamos como base alguns vídeos [34, 35, 36, 37]

## 5 METODOLOGIA

Inicialmente, a pesquisa foi desenvolvida a partir de referenciais teóricos, correspondendo à etapa de revisão teórica do trabalho. Na sequência, foi produzido um protótipo de maquinaria para reaproveitamento de materiais plásticos coletados na escola. Para isso o projeto foi dividido nas seguintes etapas:

- Pesquisa
  - sobre as características dos diferentes tipos de plástico
    - termoplásticos ou termofixos
    - pontos de fusão e ebulição
    - gases e substâncias liberados com a queima
  - sobre as características específicas do PET
    - vantagens e desvantagens de sua utilização como matéria prima do filamento
  - sobre como formar filamentos para impressoras 3D
    - estrutura
    - máquinas necessárias
    - cuidados necessários com a produção do filamento
  - sobre a quantidade de plástico descartado no Brasil e no mundo
  - sobre a quantidade de plástico reciclado no Brasil e no mundo
  - sobre como construir uma extrusora para a produção de filamentos para impressora 3D
- Elaboração escrita do trabalho
- Criação do projeto para o protótipo da maquinaria para o reaproveitamento de materiais plásticos, que utilizará:
  - chapas de madeira, para a base do sistema;
  - porcas, arruelas e parafusos adequados ao sistema;
  - hastes de metal para suporte da garrafa PET que será filetada;
  - lâminas de estilete e lâminas de barbear para o corte inicial da garrafa e o processo de corte do filete;
  - bobina para armazenamento do filete produzido;
  - máquina extrusora;
  - bobina para armazenamento do filamento produzido;
  - impressora 3D já existente na escola.

- Pesquisa e criação de kits para ensino básico
- Optamos por pesquisar o PET devido ao seu uso extensivo na sociedade contemporânea

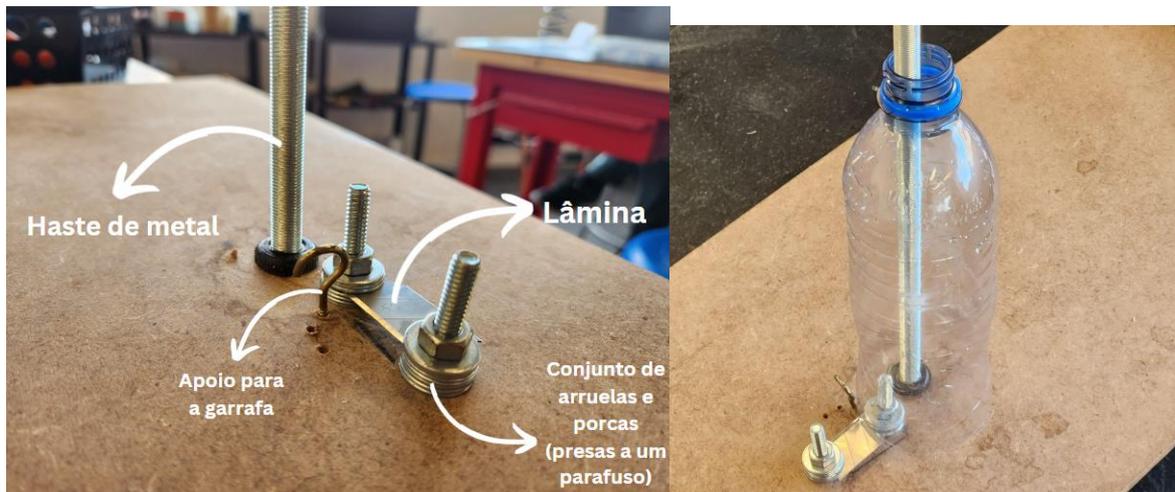
## 6 MAQUINARIA

### 6.1 Sistema filetador

Para a construção da filetadora foram utilizados uma placa de madeira, uma haste de metal, um sistema de porcas, arruelas e parafusos e uma lâmina de estilete, como mostrado na Figura 1.

O objetivo é que a garrafa PET seja colocada na haste de metal, para que ela possa girar conforme o filete seja cortado, como ilustrado na Figura 2; a lâmina de estilete é capaz de cortar o PET de forma uniforme e a espessura do filete é determinada pela altura da lâmina, que pode ser controlada de acordo com o número de arruelas adicionado.

Para garantir a reprodutibilidade do método a espessura de cada arruela foi medida e garantiu-se que a altura de cada coluna de arruelas fosse idêntica. O sistema pode ser utilizado para garrafas de tamanho e volumes variados (0,5L, 1L, 1,5L e 2L).



Primeiro modelo e indicação dos materiais e funcionamento da filetadora utilizada pelo grupo.

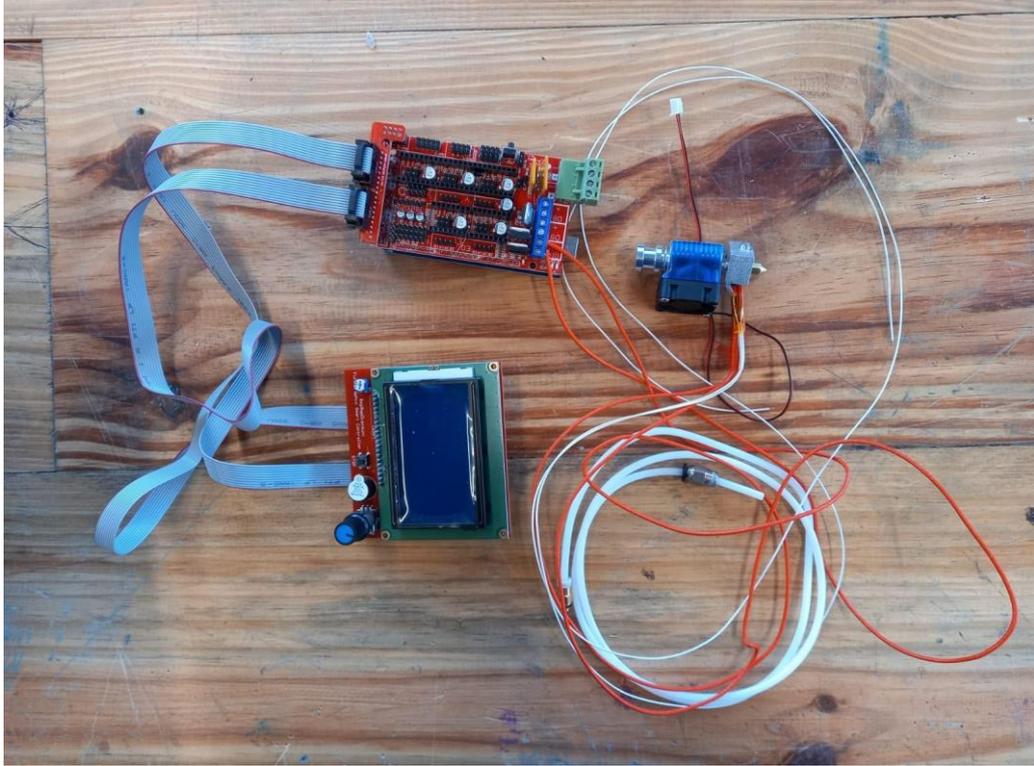
Para ilustrar o processo de produção do filete, foi produzido um vídeo, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=zZlxY737bUo>

### 6.2 Sistema extrusor

Para a construção da extrusora, utilizamos uma placa de arduino mega, alguns bicos nozzle para impressora 3D, um shield para arduino mega, uma extrusora Hotend, e um módulo display de 128x64 controlador rebrap.

O objetivo da extrusora é transformar os fitilhos produzidos com o sistema filetador em filamentos para a impressora 3D. Com isso em mente, o modelo de extrusora selecionado permite a alteração de bicos nozzle, para que seja possível produzir filamentos de diferentes diâmetros para diferentes impressoras.

A imagem a seguir mostra as peças da extrusora:



### 6.3 Impressão

A impressora 3D utilizada para a produção dos kits para a educação básica é do modelo “Duplicator i3 Mini”, como mostra a imagem a seguir.



## REFERÊNCIAS

- [1] MANO E. B. Introdução a Polímeros. São Paulo, Editora Edigard Blücher Ltda, 1988.
- [2] MAIS POLÍMEROS. Disponível em: <<https://maispolimeros.com.br/2020/02/28/plasticos-reciclaveis/>>. Acesso em 25 de mai. 2022.
- [3] FRANCHETTI, S. M. M.; MARCONATO, J. C. POLÍMEROS BIODEGRADÁVEIS – UMA SOLUÇÃO PARCIAL PARA DIMINUIR A QUANTIDADE DOS RESÍDUOS PLÁSTICOS. Departamento de Bioquímica e Microbiologia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, CP 199, 13506-900 Rio Claro - SP, Brasil. Quim. Nova, Vol. 29, No. 4, 811-816, 2006
- [4] Oceanos de plástico. Direção de Craig Leeson. 2016, 102 min.
- [5] THE GREENEST POST. Disponível em <<https://thegreenestpost.com/oceano-podera-ter-mais-plastico-que-peixes-estudo-revela/>>. Acesso em 25 mai. 2022.
- [6] GORZIZA, Amanda; CEARÁ, Lianne; BUONO, Renata. Apenas 1,3% do lixo plástico gerado no Brasil é reciclado. Folha de S. Paulo, Piauí, 14 fev. 2021. Disponível em <<https://piaui.folha.uol.com.br/apenas-13-do-lixo-plastico-gerado-no-brasil-e-reciclado>>. Acesso em 25 mai. 2022.
- [7] FIOCRUZ. Disponível em <<http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/infantil/reciclagem.htm>>. Acesso em 25 mai. 2022.
- [8] NEWS STAFF. Scientists Engineer New Plastic-Eating Enzyme. Sci News, 28 abr. 2022. Disponível em: <<http://www.sci-news.com/biology/fast-petase-10752.html>>. Acesso em 25 mai. 2022.
- [9] ODS BRASIL. Disponível em <<https://odsbrasil.gov.br/>>. Acesso em 25 mai. 2022.
- [10] BRONZE, Giovanna. 85% dos animais que ingeriram lixo nos mares são espécies em risco de extinção. CNN BRASIL, São Paulo, 10 jan. 2021. Disponível em <<https://www.cnnbrasil.com.br/internacional/85>>
- [11] SINDIPLAST. Disponível em: <<http://www.sindiplast.org.br/tipos-de-plasticos/>>. Acesso em 20 mar. 2022.
- [12] PARENTE, R. A. Elementos estruturais de plástico reciclado. São Carlos, 2006.
- [13] FORLIN, F. J.; FARIA, J. A. F. Considerações Sobre a Reciclagem de Embalagens Plásticas. Departamento de Tecnologia de Alimentos, FEA, UNICAMP. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 12, nº 1, p. 1-10, 2002.

- [14] eCycle. Disponível em <[https://www.ecycle-com-br.cdn.ampproject.org/v/s/www.ecycle.com.br/tempo-de-decomposicao-do-plastico/amp/?amp\\_js\\_v=a6&amp\\_gsa=1&usqp=mq331AQKKAFQArABIIACAw%3D%3D#ampshare=>](https://www.ecycle-com-br.cdn.ampproject.org/v/s/www.ecycle.com.br/tempo-de-decomposicao-do-plastico/amp/?amp_js_v=a6&amp_gsa=1&usqp=mq331AQKKAFQArABIIACAw%3D%3D#ampshare=>)>. Acesso em 25 mai. 2022.
- [15] Andrade, Darly Fernando. Engenharia no século XXI. 1. ed. Belo Horizonte: Poisson, 2019, p. 13-17.
- [16] LIMA, J. Estudante cria “imã líquido” que retira microplásticos da água. Observatório do terceiro setor. 28 dezembro 2021. Disponível em: <<https://observatorio3setor.org.br/noticias/estudante-cria-ima-liquido-que-retira-microplasticos-da-agua/>>. Acesso em 25 mai. 2022.
- [17] SANTOS, A. S. F.; AGNELLI, J. A. M.; MANRICH, S. Tendências e Desafios da Reciclagem de Embalagens Plásticas. São Carlos. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 14, n° 5, p. 307-312, 2004
- [18] RODRIGUES, L. F. B. Análise do aproveitamento de polímeros recicláveis para obtenção de filamentos para impressora 3d. Panambi, RS, 2017.
- [19] OLIVEIRA, U. C.; PEREIRA, T. Z.; DAMAS, M. S. MINI EXTRUSORA DIDÁTICA DE POLÍMEROS UTILIZADOS EM IMPRESSORAS 3D.
- [20] CASTRO, T. H. M. OS BIOPLÁSTICOS: IMPACTOS AMBIENTAIS E PERSPECTIVAS DE MERCADO. Rio de Janeiro, março 2019.
- [21] Meet ProtoCycler the 3D printed waste recycling and extrusion system. ReDeTec. 2014, 4,75 min (4 minutos e 45 segundos)
- [22] SUPERINTERESSANTE. Disponível em: <<https://super.abril.com.br/coluna/planeta/maquina-transforma-plastico-reciclado-em-filamento-para-impressora-3d/>>. Acesso em 25 de mai 2022.
- [23] FARIA, R. J. F. Avaliação de ciclo de vida de um produto obtido por impressão 3D a partir de monofilamento com origem em garrafas PET, set. 2018.
- [24] FREIRE, M. T. A.; REYES, F. G. R.; CASTLE, L. Estabilidade Térmica de Embalagens de Poli (Tereftalato de Etileno (PET): Determinação de Oligômeros.
- [25] ICIS. 2007. Polyethylene Terephthalate (PET) Production and Manufacturing Process [Online]. Available: <https://www.icis.com/resources/news/2007/11/06/9076427/polyethylene-terephthalate-pet-production-and-manufacturing-process/>
- [26] KUTZ, M. 2011. Applied plastics engineering handbook: processing and materials, William Andrew.
- [27] CREF. Garrafa pet no braseiro não derrete e água ferve!. Disponível em: <https://cref.if.ufrgs.br/?contact-pergunta=garrafa-pet-no-braseiro-nao-derrete-e-agua-ferve>. Acesso em: 21 ago. 2022.

[28] ILSI - International Life Sciences Institute - Refillable Plastic Packaging made from PET (polyethylene terephthalate). Washington DC, , 131p., c (1993).

[29] AL-SALEM, S. M., LETTIERI, P. & BAEYENS, J. 2010. The valorization of plastic solid waste (PSW) by primary to quaternary routes: From re-use to energy and chemicals. Progress in Energy and Combustion Science, 36, 103-129.

[30] SINGH, N., HUI, D., SINGH, R., AHUJA, I. P. S., FEO, L. & FRATERNALI, F. 2017. Recycling of plastic solid waste: A state of art review and future applications. Composites Part B: Engineering, 115, 409-422.

[31] RAGAERT, K., DELVA, L. & VAN GEEM, K. 2017. Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. Waste Management, 69, 24-58.

[32] Peters, R.H.& Still, R.H. - Degradation behaviour of polymers, Applied Fibre Science, 2, 355- 373, (1979).

[33] Jabarin, S.A. - Poly (ethylene terephthalate) degradation (chemistry and kinetics). The Polymeric Materials Encyclopedia, CRC Press, Inc, (CD ROM), 20p, (1996).

[34] Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=k2nWmeUcrOY>. Acesso em ago. 22 2022.

[35] Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=P\\_I5AHNhajQ&list=PLqAGJunTg5dBjJnXZqEYb\\_PSaBjPwCOkxF](https://www.youtube.com/watch?v=P_I5AHNhajQ&list=PLqAGJunTg5dBjJnXZqEYb_PSaBjPwCOkxF). Acesso em ago. 22 2022.

[36] Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=hhixKgnV-Aw&list=PLqAGJunTg5dBjJnXZqEYb\\_PSaBjPwCOkxF](https://www.youtube.com/watch?v=hhixKgnV-Aw&list=PLqAGJunTg5dBjJnXZqEYb_PSaBjPwCOkxF). Acesso em ago. 22 2022.

[37] Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=d8LI4U-y9Bc>. Acesso em ago. 22 2022.