

FILAMENTO PET RECICLADO PARA IMPRESSÃO 3D: UMA ANÁLISE SUSTENTÁVEL

Ingrid Teixeira do Nascimento - CEFET
ingridteixeira22@gmail.com

Maria Eduarda Alves da Silva - CEFET
malvesdasilva192@gmail.com

Bruno Campos dos Santos - IFRJ
bruno.campos@ifrj.edu.br

Resumo

A impressão 3D FDM tem se destacado como uma tecnologia versátil e inovadora, permitindo a fabricação de objetos tridimensionais de forma personalizada a partir de filamentos feitos de plástico. Por outro lado, a superprodução de plásticos cresce constantemente no país, bem como o excessivo descarte de polímeros plásticos no meio ambiente, causando assim poluição nos ecossistemas. Nesse contexto, o filamento feito de PET reciclado surge como uma alternativa sustentável, visando benefícios ambientais e contribuindo para a economia circular. Logo, a abordagem desse tema também foi estimulada pela ascensão do mercado 3D, que desenvolveu grande alcance nos últimos anos, tanto na área comercial quanto na indústria e agora possui possibilidade de produzir com filamentos de material reciclado. Diante disso, a pesquisa teve como objetivo o estudo de viabilidade para a transformação do polietileno tereftalato em filamento para impressoras 3D, como matéria prima de baixo custo. Foram feitos experimentos, utilizando uma pequena extrusora de impressora 3D com um bico de 2mm acoplado a ela, que evidenciaram que ainda são necessários alguns ajustes no processo de aquecimento para derreter os filetes de plástico e os modelar de forma satisfatória. Embora ainda em desenvolvimento, este estudo forneceu uma base de conhecimento e experiência para melhorar o processo de desenvolvimento de filamento PET para uso em impressoras 3D.

Palavras chave: Filamento; PET; sustentável; reciclado; temperatura; impressão 3D; extrusora

Abstract

FDM 3D printing has emerged as a versatile and innovative technology, enabling the production of customized three-dimensional objects from plastic filaments. On the other hand, the overproduction of plastics is constantly growing in the country, as is the excessive disposal of plastic polymers in the environment, thus causing pollution in ecosystems. In this context, filament made from recycled PET emerges as a sustainable alternative, brings environmental benefits and contributes to a circular economy. Therefore, the approach to this topic has also been stimulated by the rise of the 3D market, which has developed great reach in recent years, both in the commercial and industrial areas and now has the possibility of producing with filaments from recycled material. In view of this, the research aimed to study the forecast for the transformation of polyethylene terephthalate into filament for 3D printers, as a low-cost raw material. Experiments were carried out using a small 3D printer extruder with a 2mm nozzle attached to it, which showed that some adjustments are still necessary in the heating process to melt the plastic threads and model them satisfactorily. Although still in development, this study has provided a base of knowledge and experience to improve the process of developing PET filament for use in 3D printers.

Keywords: Filament; PET; sustainable; recycled; temperature; 3D printing; extruder.

1 Introdução

Com o crescimento contínuo da tecnologia de impressão 3D, a busca por materiais mais sustentáveis e eficientes tem se intensificado. O desenvolvimento de filamentos PET (polietileno tereftalato) para uso nestas impressoras tem ganhado destaque como uma alternativa promissora. De acordo com Pakkanen et al. (2017), a utilização de filamentos reciclados ou biodegradáveis tem o potencial de aprimorar a sustentabilidade da impressão 3D, abordando preocupações ambientais.

É notório que nos últimos anos as premissas do desenvolvimento sustentável tornaram-se um assunto de grande discussão, instigando até mesmo os interesses de empresas que estão começando a se alinhar e investir neste segmento, visando principalmente a construção de futuro mais consolidado, já que as instituições atreladas a iniciativas positivas adquirem uma melhor reputação diante das demais organizações (SCHNEEVOGT et al., 2021). Contudo, uma das formas mais destacadas é a reciclagem, que permite o reaproveitamento e o prolongamento do ciclo de vida do material de vários componentes, entre eles, o plástico, que é um material abundante em nosso cotidiano devido suas boas características de ser um insumo econômico com boa flexibilidade e menor índice de corrosão. Porém, conforme a ABIPET (Associação Brasileira da Indústria do PET), o plástico também é uma grande preocupação ambiental devido à imensa quantidade de lixo produzido e o descarte exagerado desse polímero tão conhecido.

A aplicação de filamentos PET na impressão 3D não está isenta de desafios técnicos. Wolfs e Suiker (2019) observaram em seu estudo a ocorrência de falhas estruturais durante o processo de extrusão, ressaltando a necessidade de investigação e otimização dos processos de fabricação. Para superar esses desafios, avanços na concepção e manufatura de extrusores de filamentos têm sido explorados. De acordo com Hachimi et al. (2021), há importância no estudo do processo de extrusão de filamentos 3D, oferecendo um melhor conhecimento para melhorias no processo de fabricação aditiva. Além disso, Schneevogt et al. (2021) investigaram o potencial mecânico dos filamentos PET reciclados, contribuindo para a compreensão da sustentabilidade na manufatura aditiva.

Segundo Pakkanen et al. (2017), é pertinente considerar a competitividade de mercado para filamentos de garrafas PET reciclados em comparação com os filamentos convencionais disponíveis no mercado. Os filamentos reciclados podem ser mais técnicos, mas é necessário garantir que a qualidade e as propriedades do material atendam aos requisitos dos usuários de impressão 3D. Os filamentos feitos de PET virgem são acessíveis, ajudam na redução de desperdícios e podem ter propriedades mais consistentes (MIRÓN et al., 2017). Logo, com um bom investimento e uma gestão dos processos de reciclagem e produção por parte das

indústrias e consumidores, a utilização do filamento de plástico reciclado pode ser uma boa alternativa (SCHNEEVOGT et al., 2021).

O desenvolvimento de filamentos de garrafas pet para uso em impressoras 3D ganhou espaço em variados ramos de estudo como: engenharia, medicina, programação, arquitetura, indústria automobilística, educação, robótica, odontologia, decoração entre outros (PEREIRA 2023). Sendo assim, a tecnologia da impressão 3D trouxe consigo um “leque” de possibilidades e oportunidades com a criação de protótipos com três dimensões que ajudaram no progresso de várias áreas de pesquisa.

Este artigo tem como base o estudo do reaproveitamento desse polímero, unindo a reciclagem e impressão 3D, analisando e elaborando uma metodologia viável para auxiliar a confecção e o desenvolvimento de filetes com diâmetros regulares de maneira a auxiliar na fabricação de mercadorias em 3D, trazendo benefícios com a redução de custos e dos impactos ao meio ambiente. Assim, haverá uma análise sobre a modelagem dos testes realizados em comparação aos padrões definidos, como o diâmetro e a espessura.

Dessa forma, as seções posteriores do artigo foram organizadas em referencial teórico na seção 2, metodologia da pesquisa na seção 3, seguido dos resultados da análise na seção 4 e na seção 5, as considerações finais, limitações e os trabalhos futuros.

2 Referencial teórico

Através das análises selecionadas, é possível afirmar que as propriedades de um polímero não se resumem apenas à sua massa molecular, pois também estão fortemente relacionadas aos elementos estruturais do material em questão (MADHU, 2022). Além disso, a cadeia polimérica possui uma importante atribuição nas especificidades do elemento, influenciando nas características mecânicas da matéria que serão pertinentes no processo de fabricação dos filamentos sustentáveis. É fundamental ressaltar que a produção de filamentos de garrafas PET para impressão 3D requer habilidades, técnicas e conhecimentos de engenharia. Então, é essencial buscar projetos e informações detalhadas antes de

iniciar a execução e a montagem do mecanismo. Por fim, é importante considerar aspectos ambientais, por exemplo, a reciclagem adequada das garrafas PET e a redução do consumo de plástico, como parte de uma abordagem sustentável para a fabricação de filamentos de impressão 3D.

2.1 Filamento PET

O politereftalato de etileno (PET) possui boas características mecânicas, químicas e térmicas, por isso é tão útil nas indústrias, como no uso em garrafas, filmes de embalagem e fibras têxteis (MIRÓN et al., 2017). Também pode ser manipulado tanto em filetes quanto em flocos. Porém, geralmente é aproveitado como filetes. A reciclagem desse plástico tem potencial e benefícios, mas de acordo com o autor Lanzotti et al. (2019) é preciso um alto investimento nessa área e maior conscientização sobre esse assunto, visto que a reutilização do plástico, em geral, ainda está associada a algo inferior relacionado ao que não é reciclado (métodos convencionais).

De acordo com Oussai et al. (2021), o polietileno tereftalato reciclado possui propriedades diferentes em comparação a outros modelos já comercializados, devido à degradação do material original, a presença de impurezas e ao processo de reciclagem. Então, alcançar estabilidade e a consistência desejada no filamento reciclado é um desafio, pois é necessário ajustar o processo de reciclagem e encontrar uma melhor combinação dos algoritmos para programação de leitura do sensor de temperatura, dos materiais e aditivos para obter um produto final razoável e mais consistente. Desse modo, o filamento PET reciclado pode apresentar propriedades mecânicas inferiores em comparação com outros tipos de filamentos (PETG, PLA, ABS, Nylon, TPU), (LANZOTTI et al., 2019). A reciclagem do PET pode levar a modificações moleculares no material, resultando em uma diminuição das propriedades de resistência e rigidez. Isso afeta a capacidade do filamento reciclado de suportar cargas mecânicas (SHAH et al., 2019).

2.2 Impressão 3D

A técnica de adição de materiais, também chamada de Impressão 3D, possibilita a transformação de um desenho tridimensional assistido por computador em uma representação física por meio de uma impressora automática que executa o processo de construção do objeto através do processo de incorporação de material camada por camada (ALZHRANI, 2017). Essa impressão pode ser realizada utilizando diversos materiais, dentre eles o PET.

Pereira (2023), descreve algumas vantagens do uso da impressão 3D, como: peças complexas e personalizadas, baixo nível de desperdício, redução na quantidade de processos até o produto final, variação da geometria sem prejuízo financeiro, uso de reciclados entre outros. Mas também apresenta em seu trabalho algumas desvantagens como: limitação do tamanho da peça, velocidade de produção baixa, necessidade de mão de obra qualificada, pouca exploração da área de Manufatura Aditiva - MA, entre outros.

2.3 Filamento PET na Impressão 3D

A indústria de impressão 3D tem testemunhado avanços experimentados ao longo dos anos, com uma ampla gama de materiais disponíveis para uso. Entre esses materiais, o filamento PET emergiu como uma opção popular, embora nem sempre possua os mesmos níveis de eficiência quando comparado a outros tipos de filamentos comercializados (FERREIRA et al., 2019). Um dos fatores que estimularam a popularidade do filamento PET é que ele é amplamente disponível e mais acessível em termos de custo em comparação com filamentos mais especializados, como o ABS (acrilonitrila butadieno estireno) ou o PLA (ácido polilático) (HACHIMI et al., 2021). No entanto, embora o filamento PET seja amplamente utilizado e defendido como uma boa relação custo-benefício, é importante estar ciente de suas limitações em comparação com outros filamentos. De acordo com Pakkanen et al. (2017), a aderência à plataforma de impressão, a tendência à deformação térmica e a perda parcial de transparência são fatores que podem afetar a eficiência e a qualidade dos resultados ao imprimir objetos em PET.

3 Metodologia

Esta pesquisa foi conduzida seguindo algumas etapas, com o objetivo de obter filamentos PET por meio de procedimentos de testes otimizados, no qual compreendem as etapas de revisão narrativa, elaboração de um procedimento sistemático e estruturado, montagem do mecanismo e execução e compilação dos testes.

3.1 Revisão narrativa

Uma revisão narrativa foi feita, a fim de encontrar artigos que fornecessem embasamento para a pesquisa. Buscou-se artigos publicados nos últimos 7 anos (2017 a 2023), na língua portuguesa ou inglesa. As estratégias de buscas foram formadas e a quantidade de documentos encontrados por base, estão presentes na tabela 1.

Tabela 1 - Estratégias de busca

Estratégias	Termos de busca	Scopus	WoS	SpringerLink	ScienceDirect
I	("pet filament")	57	17	41	60
II	("3D printer filament")	63	21	34	63
III	("analysis and 3D printing")	19	11	17	9
IV	("study of filament")	27	11	27	2
V	("development" and "pet filament")	67	2	25	17
VI	("filament production" and "3D printer")	109	9	44	39
VII	("polyethylene" or "terephthalate" or "filament")	63	51	-	9
	Total	405	122	188	199

Fonte: Elaboração própria (2023).

Logo, foram encontrados um total de 405 artigos na Scopus, 122 artigos na WoS, 188 artigos na SpringerLink e 199 na Science Direct dando um total de 914 artigos encontrados. Após as etapas de identificação, seleção e inclusão, 13 artigos foram selecionados para embasar a presente pesquisa, fornecendo informações pertinentes e norteando sobre as características do Polietileno Tereftalato, e vantagens e desvantagens do uso desse filamento

3.2 Elaboração do mecanismo

Para a realização do projeto, primeiramente foi pensando em como montar uma estrutura de trabalho no InstruLab, laboratório do IFRJ campus Nilópolis, visando a obtenção de filamentos PET a serem usados em impressoras 3D. Foi realizada uma visita ao laboratório Gesar da UERJ, onde eram realizados testes da utilização de filamento PET, com a finalidade de entender como são realizadas as atividades de filetar e extrusão do PET. Com os dados coletados na visita ao laboratório foi criado um protótipo inicial.

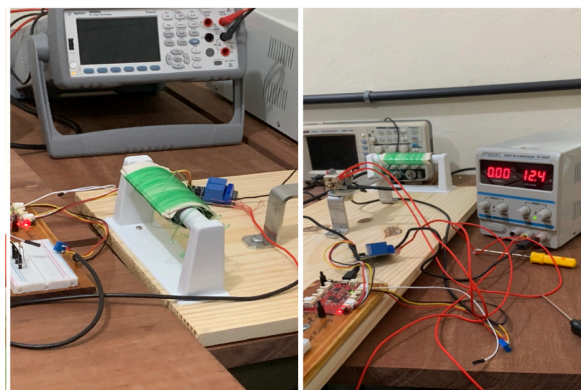
4 Resultados e discussão

Com base nas informações coletadas e nas análises realizadas, os desafios e limitações ao utilizar o filamento PET reciclado na impressão 3D foram amplamente considerados. Foram realizados testes e experimentos para avaliar a qualidade do filamento e sua orientação para aplicações específicas antes de fazer uso extensivo dele.

4.1 Montagem do mecanismo

Antes de começar a montagem, o projeto incluiu a estimativa de dimensões, peças e materiais necessários, além de um plano de montagem passo a passo. Neste caso, foi projetado o espaço em que cada equipamento ficaria na chapa de madeira antes de parafusá-los e qual seria o melhor posicionamento para iniciar a montagem do mecanismo mostrado na figura 1.

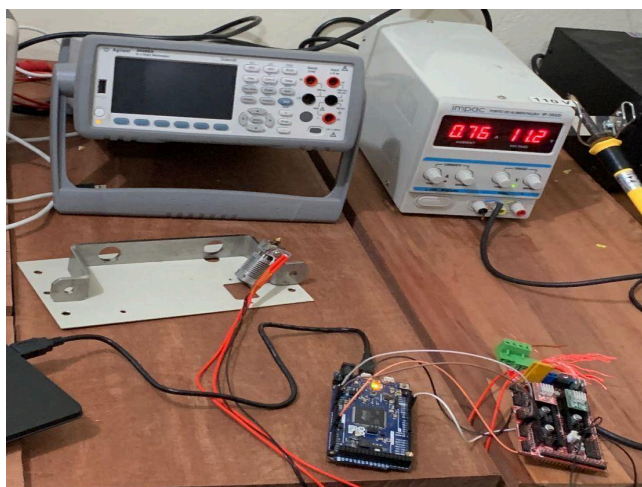
Figura 1 - Montagem na chapa de madeira



Fonte: Elaboração Própria (2023).

Com base nas pesquisas realizadas e visando a elaboração de um mecanismo que pudesse atender as necessidades iniciais do projeto, os componentes básicos e essenciais para o funcionamento inicial foram identificados. Ao longo do projeto, com o desenvolvimento das pesquisas e execução de testes, alguns componentes foram agregados, conforme mostrado na figura 2.

Figura 2 - Montagem do esquema para testes



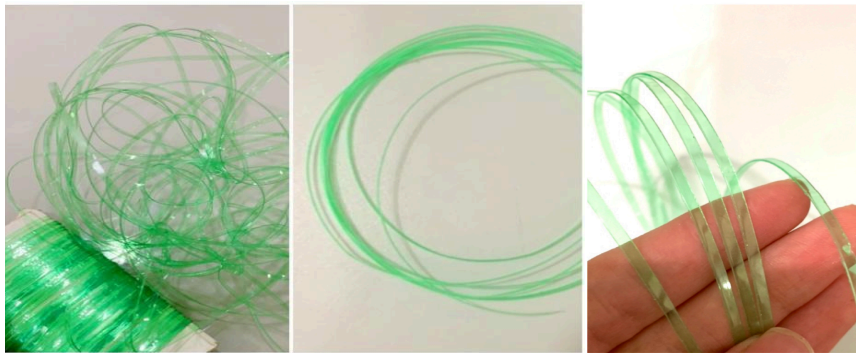
Fonte: Elaboração Própria (2023).

4.2 Processos da reciclagem

É evidente que há diferentes maneiras de elaborar um projeto de reciclagem dos plásticos, o processo pode variar conforme a metodologia escolhida e a limitação de recursos. A metodologia aplicada por esse projeto foi a de montar um mecanismo elaborado de maneira econômica e que permitisse executar os testes de processamento dos filetes. Basicamente, o processo considerou algumas etapas de base sendo elas: lavagem e secagem do material PET recolhido; filetagem do material possibilitando fios para uso; e a passagem por uma extrusora ligada a uma fonte de 12V para começar os testes de aquecimento. Foi utilizado um sensor e um código de programação apropriado, aplicado na biblioteca ARDUINO IDE.

É essencial ressaltar que o processo de reciclagem do filamento PET de forma filetada pode obter variações de acordo com os detalhes e equipamentos utilizados, dependendo da capacidade da instalação de reciclagem e do nível de automação empregada, como mostra a figura 3. No entanto, esses são os passos gerais na reciclagem desse tipo de filamento, visando a produção de um material reciclado que possa ser utilizado novamente em impressoras 3D ou em outras aplicações.

Figura 3 - PET filetado



Fonte: Elaboração própria (2023).

4.3 Filetadora

A elaboração da filetadora foi feita de forma caseira, utilizando algumas ferramentas simples, como mostrado na figura 4. Os materiais necessários foram garrafa PET, porcas, parafusos grandes, lâmina para filetar, furadeira, régua, arruelas, estilete e tesoura. Assim, iniciou-se a montagem de uma filetadora buscando o melhor procedimento para filetar garrafas e obter as tiras.

Figura 4: Instalação da filetadora caseira



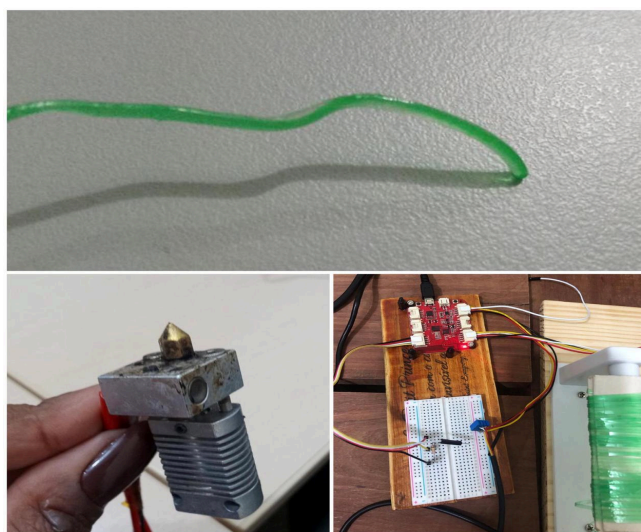
Fonte: Elaboração Própria (2023).

Foi utilizada uma garrafa PET vazia, limpa e lisa para realizar a filetagem. Após cortar e retirar o fundo da garrafa, foi feito um pequeno corte horizontal na altura desejada para que os filetes fossem formados. Então, foi usada a lâmina para filetar no corte horizontal, mantendo em um ângulo adequado para formar filetes para testes. É importante tomar precauções de segurança no manuseio de ferramentas e utensílios cortantes e se certificar de que a garrafa esteja estável durante o processo para evitar acidentes.

4.4 Testes de aquecimento

Para realizar uma avaliação, uma série de experimentos de aquecimento dos filamentos PET foi conduzida, como mostra a figura 5. As amostras do filamento foram experimentadas em diferentes temperaturas de aquecimento, variando de acordo com os ensaios e considerando as faixas de temperatura comumente utilizadas na impressão 3D. Durante os experimentos, foram registrados parâmetros como temperatura do aquecedor, velocidade de aquecimento e tempo de aquecimento necessário para atingir a temperatura desejada. Também foram utilizadas uma extrusora e uma placa Arduino para realizar a produção de amostras através de um mecanismo para testagem na fase térmica, analisando o comportamento do polímero para ser usado futuramente em impressão 3D.

Figura 5 - Filamento PET disforme e extrusora



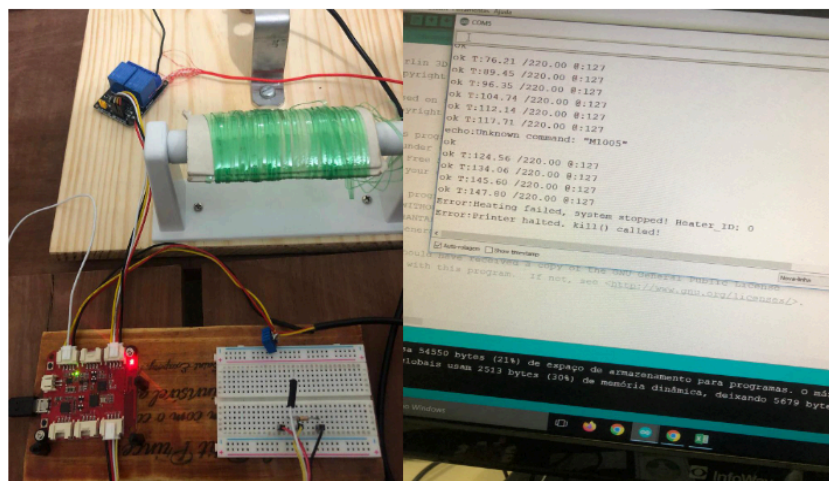
Fonte: Elaboração Própria (2023).

Durante os experimentos de aquecimento, foi observado o comportamento do filamento PET. Isso incluiu uma análise da fusão do filamento, ocorrência de bolhas ou irregularidades, presença de fumaça ou odores observados, entre outros aspectos relevantes. A forma e consistência do filamento derretido também foi avaliada, bem como a facilidade com que o material fluía pelo bico da extrusora.

4.5 Programação Básica e Desenvolvimento do Código

Foi realizada uma pesquisa dos conceitos básicos de programação, incluindo a estrutura do código, variáveis, condicionais e loops, assim como a pesquisa sobre a placa Arduino e seus recursos e as características de uma extrusora de aquecimento. Isso possibilitou um conhecimento básico antes de iniciar o estudo prático. Houve a montagem de um ambiente de trabalho adequado, incluindo a instalação do software Arduino IDE e a conexão adequada da placa Arduino (figura 6). Também houve a análise dos componentes básicos, como sensores de temperatura, resistências e relés. Um código foi escrito para a conexão com a extrusora de aquecimento. Isso envolveu a leitura dos dados do sensor de temperatura para a coleta de dados e a visualização da curva de temperatura.

Figura 6 - Testes de temperatura no programa Arduino



Fonte: Elaboração Própria (2023).

4.6 Propriedades mecânicas do filamento PET reciclado

Com a base teórica e os experimentos aplicados, foi observado que o filamento de PET reciclado, possui propriedades mecânicas que podem variar dependendo do processo de reciclagem e das condições de fabricação. Na tabela 2 é possível observar algumas das propriedades mecânicas típicas associadas ao estudo.

Tabela 2: Propriedades mecânicas do filamento PET

<p>Resistência: O filamento PET geralmente possui uma boa resistência. Pois é capaz de suportar forças sem se romper facilmente. A resistência à tração é uma medida da capacidade do material de resistir à aplicação de uma força de alongamento ou estresse.</p>
<p>Tenacidade: A tenacidade é uma medida da capacidade do material de absorver energia antes de se romper. O filamento PET geralmente possui uma tenacidade moderada, o que significa que ele pode absorver uma quantidade razoável de energia antes de se quebrar.</p>
<p>Dureza: Refere-se a resistência de um material a deformações permanentes causadas por entalhes ou arranhões. O filamento de PET reciclado apresentou uma dureza satisfatória.</p>
<p>Resiliência: A resiliência é a capacidade de um material retornar à sua forma original após sofrer deformação elástica. Foi constatado que a reciclagem do PET afeta essa propriedade, já que processo de reciclagem resulta em modificações moleculares no polímero.</p>

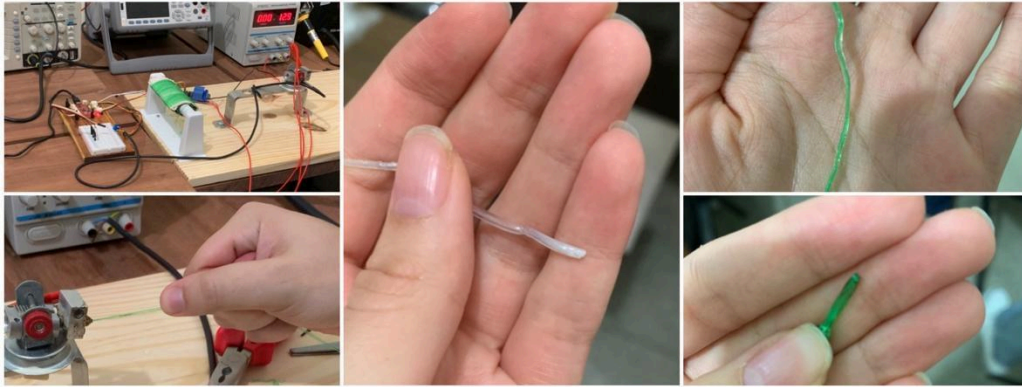
Fonte: Elaboração Própria (2023).

É importante ressaltar que as propriedades mecânicas do filamento de PET reciclado podem ser influenciadas por diversos fatores, como o grau de pureza do material reciclado, o processo de reciclagem utilizado, a presença de aditivos ou reforços adicionais, entre outros.

4.7 Avaliação de desempenho dos testes aplicados

Testes para analisar as características físicas dos filamentos PET, como a resistência à tração, a dureza, a flexibilidade e a estabilidade dimensional foram realizados (figura 7). Os procedimentos utilizados em sua maioria foram experimentais, buscando a melhoria nas características do PET.

Figura 7: Análise dos testes experimentais



Fonte: Elaboração própria (2023).

Com o avanço dos testes, constatou-se que o derretimento do PET não ocorreu de forma uniforme e consistente, resultando em fios mais fundidos no início e com muitas avarias no formato. A maior dificuldade é a oscilação da temperatura que precisa de menor variação para gerar um melhor resultado no processo. Diversas abordagens foram testadas para tentar solucionar esses problemas, como a alteração da espessura dos filetes de PET, a variação dos códigos de programação, testagem de diferentes potências da extrusora, estudo e a elaboração de algoritmos PID em diferentes configurações, entre outros.

4.8 Desafios e limitações do filamento PET reciclado

A análise dos filetes modelados revelou que o processo de aquecimento precisa de mais ajustes que possam contribuir para uma modelagem precisa e com boa integridade. Pois, os fios de PET não derreteram de maneira uniforme e consistente e se deformaram com a variação da temperatura. A fusão do filamento e sua fluidez pelo bico da impressora foram observadas e indicaram algumas imperfeições.

Foi observado que o procedimento de extrusão possui uma significativa influência na modificação da viscosidade, resistência e peso molecular do componente. Assim como explica Mirón et al. (2017), a taxa de variação da extrusora causa deformações nos filamentos. Portanto, as alterações das características podem ser constituídas mediante ao nível da temperatura e pela quantidade selecionada para o processo de extrusão do material. Outros fatores devem ser examinados no método de adaptação, como: tolerância dimensional que é estabelecida em torno de 0.02 mm, teste de tração, temperatura de fusão, densidade, limite de aquecimento,

resfriamento, entre outros. O fio de plástico contínuo deve estar dentro dos padrões presentes na indústria, que geralmente são de 1,75 mm de espessura, em formato cilíndrico e a temperatura média de fusão é cerca de 200°C ~ 230°C aproximadamente.

Uma série de testes foi realizada para verificar se a programação era adequada e buscar ajustes necessários. Análises de desempenho foram aplicadas e os resultados dos testes foram inspecionados para identificar os possíveis problemas e fornecer informações para otimizar o sistema. Os dados foram coletados para analisar as falhas e identificar as melhores práticas para a obtenção de resultados consistentes. Contudo, não foram detectados odores seguidos ou emissões de fumaça, sugerindo uma eliminação mínima do material.

5 Conclusão

Neste artigo, exploramos o desenvolvimento de filamentos PET para uso em impressoras 3D, considerando sua contribuição para a sustentabilidade, os desafios técnicos enfrentados e os avanços no estudo de extrusores. A análise dos estudos selecionados destaca a importância da pesquisa contínua nesse campo, visando aprimorar a fabricação aditiva e promover a utilização responsável de recursos.

Com base nos resultados e nas observações feitas durante a pesquisa, os filamentos PET desenvolvidos ainda não atingiram o desempenho desejado em termos de aderência à plataforma de impressão e resistência mecânica. Além disso, foram observados problemas de deformação durante os testes, levando a peças distorcidas e com falhas estruturais. Diversas abordagens foram testadas para tentar solucionar esses problemas, como a alteração da espessura dos filetes de PET, a variação dos códigos de programação, testagem de potência da extrusora, estudo e elaboração de algoritmos PID para obter menos oscilações na curva de temperatura em relação ao setpoint, entre outros. Essas tentativas resultaram em algumas melhorias, porém ainda se obteve o resultado pretendido, pois a temperatura e o derretimento dos filetes foram monitorados ao longo do processo. Logo, observamos o derretimento dos filetes de PET e registramos as mudanças físicas e estruturais ocorridas durante o processo de extrusão. O início dos fios eram

melhores do que o restante pois a temperatura ia variando e causando avarias porque não se mantinha constante.

O processo de desenvolvimento do filamento PET para impressão 3D ainda é desafiador, devido a problemas como configuração da temperatura de derretimento, variação no processo de extrusão entre outros. Maia (2023), em seu estudo, enfatiza a necessidade de se compreender a influência dos parâmetros de impressão 3D no PET para maximizar suas propriedades desejadas.

Há um grande potencial de melhoria com a realização de testes adicionais em diferentes configurações, a fim de otimizar os parâmetros do processamento em fase de extrusão e garantir resultados ainda mais significativos. Pretende-se dar continuidade a investigação com foco na otimização da formulação desses filamentos, explorando diferentes aditivos e modificadores que possam melhorar a aderência e o aquecimento, a resistência mecânica e a qualidade das peças. Além disso, é importante realizar análises mais aprofundadas sobre os fatores que contribuem para a deformação durante a extrusão, a fim de identificar soluções mais eficazes. Os desafios encontrados ao longo deste estudo fornecem insights importantes que podem ajudar futuros pesquisadores a evitar abordagens infrutíferas e direcionar seus esforços para soluções mais promissoras.

Como pesquisa futura, pretende-se realizar mais testes com uma extrusora mais potente em laboratório a fim de se obter melhores resultados. No entanto, novas pesquisas e investimentos são necessários para otimizar os processos e expandir a aceitação desse material na indústria de impressão 3D. A pesquisa científica é um processo contínuo, e é fundamental reconhecer que os resultados negativos fazem parte do progresso científico. As experiências adquiridas até o momento forneceram valiosas informações para orientar estudos futuros e auxiliar no avanço da tecnologia de impressão 3D utilizando filamentos PET, pois hoje em dia as impressoras 3D continuam a evoluir e a transformar diversos setores, permitindo a produção de protótipos, peças personalizadas e até mesmo a criação de estruturas complexas. A tecnologia tem um futuro promissor e continua a despertar a imaginação e a criatividade em diversas áreas.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio do IFRJ - Campus Nilópolis. Os autores do artigo agradecem ao Propeq, IFRJ e a FAPERJ, pela bolsa concedida e pela contribuição ao desenvolvimento da pesquisa científica brasileira. Também agradecemos ao Orientador Bruno Campos dos Santos pelo incentivo e pela oportunidade atribuída.

REFERÊNCIAS

ABIPET. **Associação Brasileira da Indústria do PET**. Disponível em: <<https://abipet.org.br/>>. Acesso em: 18 dez. 2023.

ALZHRANI, M. **Modification of Recycled Poly(ethylene terephthalate) for FDM 3D-Printing Applications**. Curso de Pós-graduação em Engenharia Química, University of Waterloo. 2017.

FERREIRA, I. et al. **Additive manufacturing of polyethylene terephthalate glycol /carbon fiber composites: An experimental study from filament to printed parts**. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications, v. 233, n. 9, p. 1866–1878, 23 ago. 2018.

HACHIMI, T. et al. **Design and Manufacturing of a 3D printer filaments extruder**. Procedia Structural Integrity, v. 33, p. 907–916, 2021.

LANZOTTI, Antonio et al. **A comparison between mechanical properties of specimens 3D printed with virgin and recycled PLA**. Procedia Cirp, v. 79, p. 143-146, 2019.

MADHU, N. R. et al. **Fused deposition modeling approach using 3D printing and recycled industrial materials for a sustainable environment: a review**. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 122, n. 5-6, p. 2125–2138, set. 2022.

MAIA, Lucas Felipe Aguiar. **Análise da influência dos parâmetros de impressão 3D nas propriedades mecânicas do PETG utilizando método de taguchi**. 2023.

MIRÓN, V. et al. **Manufacturing and characterization of 3D printer filament using tailoring materials**. Procedia Manufacturing, v. 13, p. 888-894, 2017.

OUSSAI, A.; BÁRTFAI, Z.; KÁTAI, L. **Development of 3D Printing Raw Materials from Plastic Waste. A Case Study on Recycled Polyethylene Terephthalate.** Applied Sciences, v. 11, n. 16, p. 7338, 1 jan. 2021.

PAKKANEN, Jukka et al. **About the use of recycled or biodegradable filaments for sustainability of 3D printing.** In: International conference on sustainable design and manufacturing. Springer, Cham, 2017. p. 776-785.

PEREIRA, Erisson Jeliel Mendes. **Avaliação do tipo de preenchimento na resistência mecânica de peças fabricadas em petg por impressão 3D.** 2023.

SCHNEEVOGT, H. et al. **Sustainability in additive manufacturing: Exploring the mechanical potential of recycled PET filaments.** Composites and Advanced Materials, v. 30, p. 263498332110000, 1 jan. 2021.

SHAH, J. et al. **Large-scale 3D printers for additive manufacturing: design considerations and challenges.** The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 104, n. 9, p. 3679-3693, 2019.

WOLFS, R. J. M.; SUIKER, A. S. J. **Structural failure during extrusion-based 3D printing processes.** The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 104, n. 1-4, p. 565–584, 6 jun. 2019.

“O conteúdo expresso no trabalho é de inteira responsabilidade do(s) autor(es)”.