



XXVIII CREAM

Congresso Nacional de Estudante
de Engenharia Mecânica

Santa Maria - RS



XXVIII Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica
09 a 13 de maio de 2022, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil

TESTE DE EFICÁCIA DA UTILIZAÇÃO DE FOLHA DE POLIPROPILENO NA PROTOTIPAGEM DE ATUADORES HASEL'S

Wender Cássio Galdino, wendercassio@live.com¹
Erick Cristian da Silva Lopes, erickcslopes@gmail.com¹
Felipe Vieira da Silva, felipe.vieira.silva@outlook.com.br¹
Mezelmias José Garcia Martins, mezell@hotmail.com¹
Luis Manoel de Paiva Souza, luismanoel_tap@hotmail.com²

¹Discente da Fundação Educacional Guaxupé, Av. Dona Floriana, 463 - Centro, Guaxupé - MG, 37800-000

²Docente da Fundação Educacional Guaxupé, Av. Dona Floriana, 463 - Centro, Guaxupé - MG, 37800-000

Resumo. Para que soft robots tenham adoção universal em aplicações práticas, eles requerem atuadores flexíveis que forneçam desempenho bem próximo aos músculos naturais, ao mesmo tempo em que são baratos e facilmente fabricados. Usando como modelo os atuadores HASEL (hydraulically amplified self-healing electrostatic), testou-se a eficácia da utilização de uma combinação de folha de polipropileno (PP) revestido por uma camada de papel alumínio como substituto da combinação de película de polipropileno biorientada (BOPP) entre duas camadas de poliimida, como proposto por MITCHELL et al. (2019). Observou-se que o uso da impressora 3D como termo-seladora de BOPP, apesar de funcional, é demasiadamente complexo para a utilização dentro de uma lógica de prototipagem rápida.

Palavras chave: Prototipagem rápida. Impressora 3D. Termoselagem. Atuador HASEL.

Abstract. For soft robots to have universal adoption in practical applications, they require flexible actuators that provide performance close to natural muscles, while being inexpensive and easily manufactured. Using the HASEL actuators as a model, the effectiveness of using a combination of polypropylene sheet coated with a layer of aluminum foil as a substitute for the combination of bioriented polypropylene film between two layers of polyimide, as proposed by MITCHELL et al. (2019). It was observed that the use of the 3D printer as a BOPP heat sealer, despite being functional, is too complex for use within a rapid prototyping logic.

Keywords: Prototyping, 3d printer, heat sealing, HASEL actuator.

1. INTRODUÇÃO

Os soft robots compõem uma área que tem sido muito pesquisada recentemente. Segundo MITCHELL et al. (2019) eles oferecem uma adaptabilidade intrínseca e destreza que é adequada para uma operação segura perto de humanos, abrindo aplicações em robótica vestível, cirúrgica e colaborativa.

Tendo isso como mote, utilizou-se como referencial teórico para a elaboração desse artigo o trabalho de MITCHELL et al. (2019) sobre a prototipagem dos atuadores donut Hasel e o trabalho de CHOI e ISHII (2021) sobre o uso da impressora 3D como seladora térmica para testar a prototipagem de células de atuadores a partir de materiais mais acessíveis, trocando o uso da película de BOPP por embalagens comuns de zip loc (PP), além de substituir o uso da fita de poliimida por papel alumínio como proteção térmica.

1.1. HASEL's Actuators

Segundo MITCHELL et al. (2019) os HASEL's Actuators utilizam-se de campos elétricos para deslocar localmente líquidos dielétricos em arquiteturas fechadas, hidráulicas e flexíveis, o que os permite se auto-recuperarem eletricamente da quebra dielétrica. Isso é possível através dos mecanismos de zipping (fechamento) eletrostático que lhes garante um resposta de atuação contínua, reduzindo as tensões operacionais necessárias para grandes deformações.

Observe a figura 1 a seguir, ela mostra o princípio generalizado da atuação do modo zipping (fechamento) nos atuadores HASEL. Nela vê-se uma concha dielétrica fina, flexível e inextensível encapsulando um líquido dielétrico e eletrodos colocados em ambos os lados de uma borda afilada da concha.

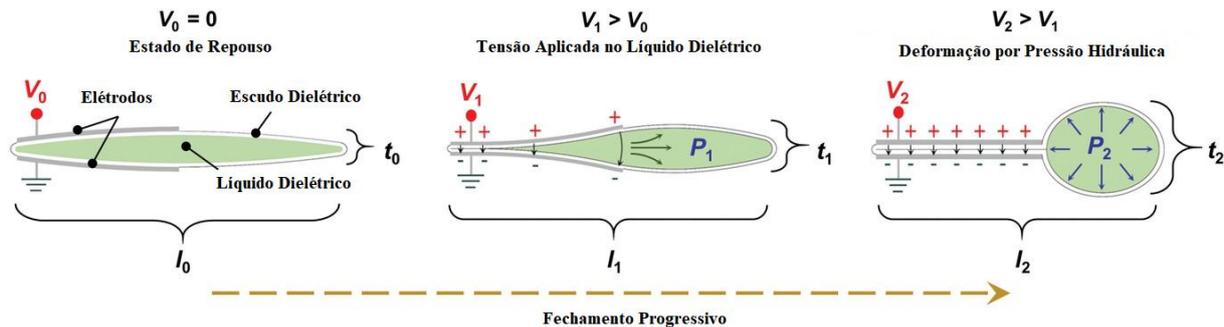


Figura1 - Princípio geral da atuação do modo *zipping* em atuadores HASEL

1.2. Prototipagem rápida dos HASEL's Actuators

Com o objetivo de fabricar rapidamente várias unidades do protetor dielétrico, MITCHELL et al. (2019) identificou um material e uma técnica de fabricação para esse fim. Sua equipe fez uso de uma máquina CNC de três eixos (impressora 3D) para aquecer camadas finas de películas de polipropileno biorientada (BOPP) em bolsas de várias formas e tamanhos, e uma tinta condutora baseada em carbono que foi aplicada com um pincel de tinta. Segundo MITCHELL et al. (2019), “o BOPP foi escolhido por ser um termoplástico barato com excelente resistência dielétrica ($\approx 700 \text{ V } \mu\text{m}^{-1}$) e resistência à tração ($\approx 300 \text{ N mm}^{-2}$)”. É possível ver na Figura 2 o processo de fabricação dos atuadores HASEL's em formato “*donut*” apresentado por Mitchell et al. (2019).

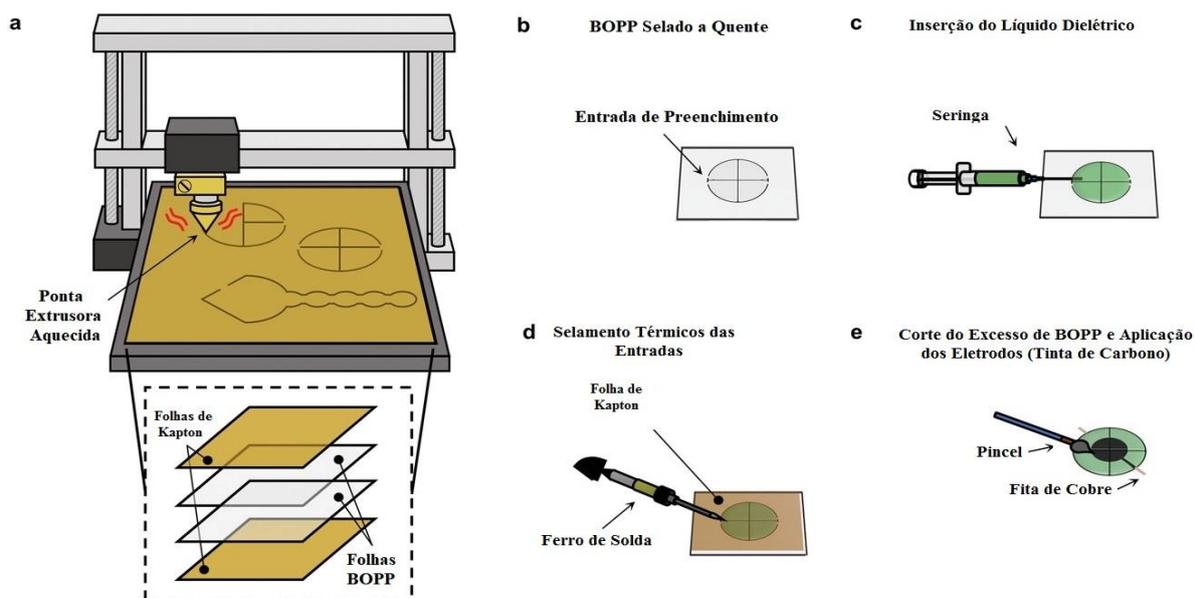


Figura 2 - Processo de Fabricação (MITCHELL et al, 2019)

1.3. Termoselagem de Sacos Plásticos

Para se usar uma impressora 3D como uma termoseladora de saco plástico é preciso ter alguns parâmetros de execução como temperatura, diâmetro do bico, altura Z e velocidade de deslocamento do eixo Z, por isso, utilizou-se como material de apoio o artigo de CHOI e ISHII (2021).

Tabela 1. Parâmetros de Configuração da Impressora 3D para Termoselagem (CHOI e ISHII, 2021)

Exemplo de Material	Tipo de Material	Temperatura de Fusão [K]	Configuração da Impressora 3D			
			Altura Z*	Velocidade de Deslocamento [m/s]	Temperatura de Extrusão [K]	Papel Al. no topo
Ziploc	Polipropileno (PP)	363.6 - 373	Z0.0	0.01 m/s	483	SIM

2. DESENVOLVIMENTO

Com o objetivo de fabricar rapidamente várias unidades do protetor dielétrico proposto por MITCHELL et al. (2019), porém com materiais de mais fácil acesso, utilizou-se da pesquisa de CHOI e ISHII (2021) para identificar um material e uma técnica de fabricação.

Dos materiais testados por CHOI e ISHII (2021), escolheu-se o polipropileno (PP) devido a sua rigidez dielétrica ($10 \cdot 10^7$ V/m) e a facilidade de se encontrar o material no formato de embalagens Zip Loc. Utilizou-se embalagens do tipo N5, com espessura de 0,00016 m (0,00008 m por folha) nas dimensões de 0,14 x 0,10 m.

A partir dos parâmetros apresentados por CHOI e ISHII (2021) na tabela 1, adaptou-se a técnica de fabricação proposto por MITCHELL et al. (2019) na figura 2. Observe a Figura 3, ela ilustra o processo de fabricação dos atuadores proposto pelos autores.

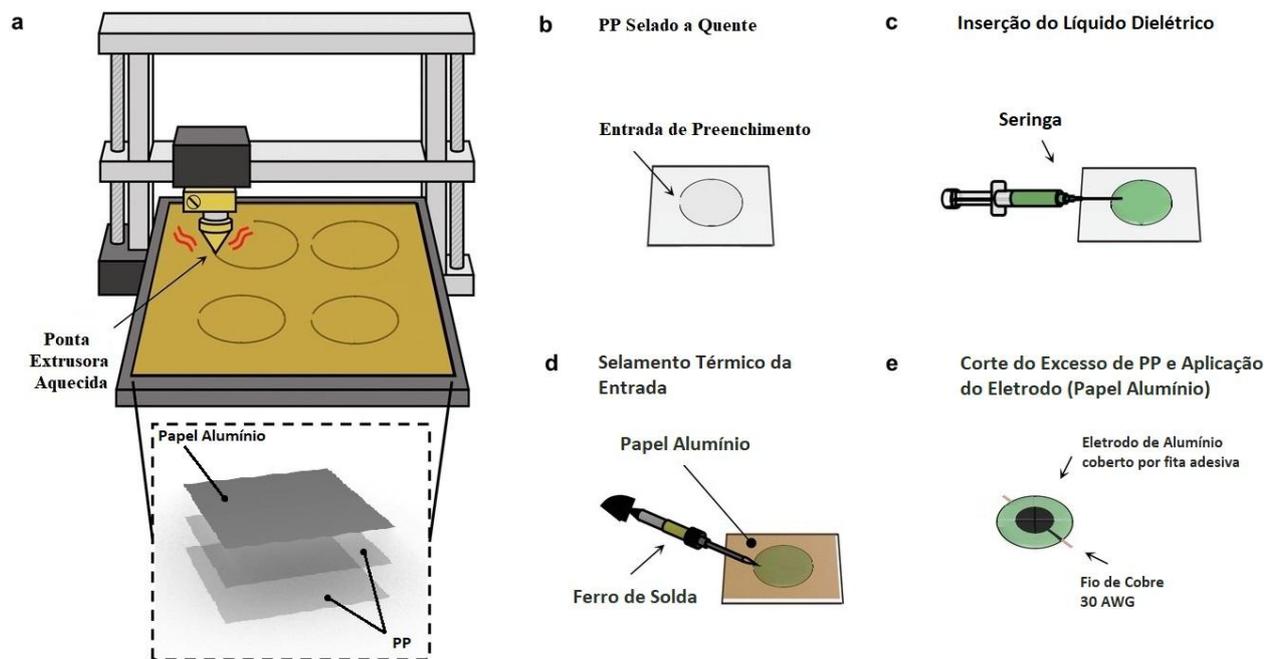


Figura 3 - Processo de Fabricação

2.1. Ajuste dos Parâmetros

Com o auxílio de um software de modelagem 3D (Rhinoceros 7) elaborou-se o percurso que a ponta extrusora deveria percorrer para selar o zip loc no formato do atuador. O diâmetro do atuador foi feito tendo como referência o tamanho do atuador apresentado por MITCHELL et al. (2019), já as dimensões de espessura e altura foram determinadas levando em consideração o diâmetro do bico da impressora. Observe a figura seguir, ela ilustra a dimensão do percurso em milímetros.

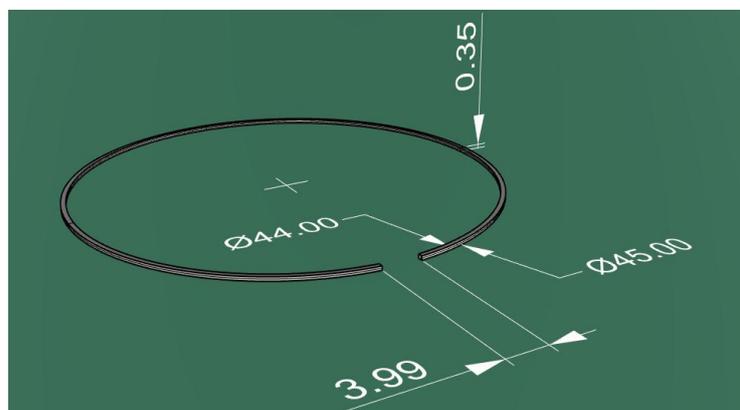


Figura 4 - Percuso da ponta Extrusora em Milímetros

O percurso foi salvo no formato de estereolitografia (*.STL) e importado em um software de fatiamento 3D (Ultimaker Cura 4.11.0) com o intuito de gerar o código G do percurso. No software de fatiamento as variáveis foram configuradas como apresentadas por CHOI e ISHII (2021). A figura a seguir mostra a interface de configurações onde se ajustou a temperatura da ponta extrusora para 483 K (210 °C) e a velocidade de impressão para 0,01 m/s (10 mm/s).

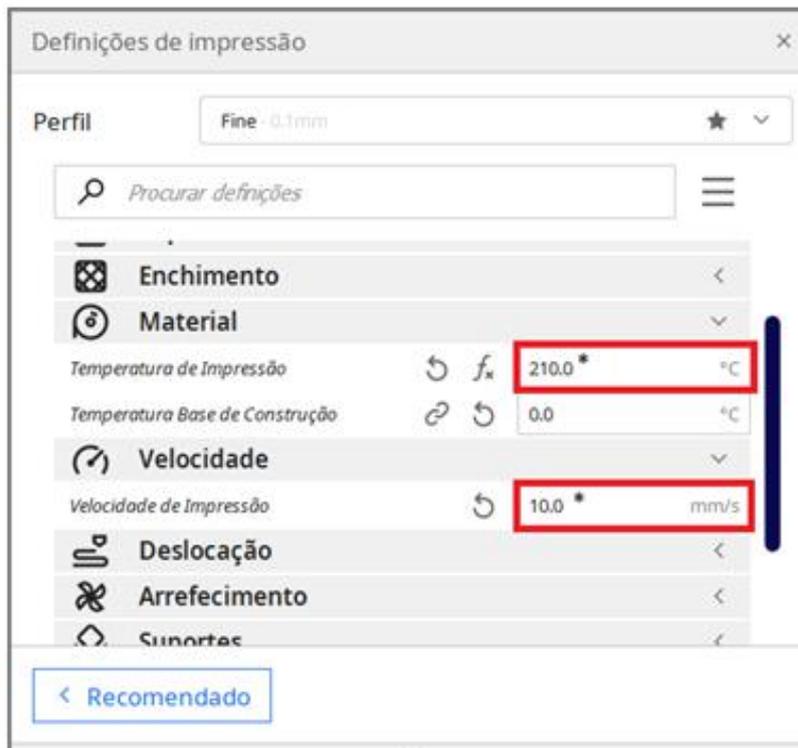


Figura 4 - Interface de Configurações do Ultimaker Cura 4.11.0

Após gerar o código G, precisou-se abrir o arquivo e modificar o parâmetro de altura Z manualmente, já que por padrão os softwares de fatiamento geram o arquivo com o parâmetro Z em um altura proporcional ao diâmetro do bocal da impressora. Nesse caso, o parâmetro Z era igual a 0.3 mm e foi preciso ajustá-lo para 0.0 mm como recomendado por CHOI e ISHII (2021), entretanto, o modelo de impressora usado para fazer os testes tinha um sistema de nivelamento automático, sendo assim, foi necessário ajustar o código Z para desconsiderar a espessura do zip loc e do papel alumínio.



Figura 5 - Espessura do Zip Loc + Papel Alumínio

Na figura a seguir está destacado a altura do parâmetro Z. Em 6.a temos a configuração gerada pelo Ultimaker Cura, em 6.b temos a configuração sugerida por Choi e Ishii e por fim, em 6.c a configuração ajustada para desconsiderar a espessura do material.

<pre>G1 Y0 M120 P20 S50 G92 E0 G92 E0 G1 F2400 E-1.5 ;LAYER_COUNT:2 ;LAYER:0 M107 ;MESH:Atuador.stl G0 F3600 X200.25 Y225.256 Z0.3 ;TYPE:WALL-OUTER G1 F2400 E0 G1 F300 X201.599 Y225.2 E0.0842 G1 X202.707 Y225.105 E0.15355 G1 X203.827 Y224.958 E0.224</pre> <p style="text-align: center;">a</p>	<pre>G1 Y0 M120 P20 S50 G92 E0 G92 E0 G1 F2400 E-1.5 ;LAYER_COUNT:2 ;LAYER:0 M107 ;MESH:Atuador.stl G0 F3600 X200.25 Y225.256 Z0.0 ;TYPE:WALL-OUTER G1 F2400 E0 G1 F300 X201.599 Y225.2 E0.0842 G1 X202.707 Y225.105 E0.15355 G1 X203.827 Y224.958 E0.224</pre> <p style="text-align: center;">b</p>	<pre>G1 Y0 M120 P20 S50 G92 E0 G92 E0 G1 F2400 E-1.5 ;LAYER_COUNT:2 ;LAYER:0 M107 ;MESH:Atuador.stl G0 F3600 X200.25 Y225.256 Z-0.2 ;TYPE:WALL-OUTER G1 F2400 E0 G1 F300 X201.599 Y225.2 E0.0842 G1 X202.707 Y225.105 E0.15355 G1 X203.827 Y224.958 E0.224</pre> <p style="text-align: center;">c</p>
--	--	---

Figura 6 - Ajuste no Código G

Após o ajuste no código G, o arquivo foi enviado para a Impressora 3D, observe na figura 7 o modelo de impressora utilizado nos testes de prototipagem.



Figura 7 - Impressora Sethi3D S4X

2.1. Selagem Térmica dos Atuadores

Fixou-se o material na mesa de trabalho da CNC e executou o percurso de selamento, com esse teste, os autores constataram que os parâmetros de velocidade e temperatura sugeridos por CHOI e ISHII (2021) não eram eficazes para o selamento do zip loc. Afim de aplicar uma metodologia de pesquisa para encontrar o ponto ideal de selamento do zip loc, manteve-se a velocidade da ponta extrusora como sugerida por CHOI e ISHII (2021) de 0,01 m/s (10 mm/s) e aumentou a temperatura em uma proporção linear de 10K. Observe na figura 8 a preparação da mesa de trabalho da impressora para o teste de gradação da temperatura.



Figura 8 - Preparação da Mesa de Trabalho para o Teste de Gradação da Temperatura (Marcação na escala Celsius)

Após a execução do teste, constatou-se que a partir de 513K (240°C) foi-se possível conseguir uma selagem adequada para a prototipagem dos atuadores. Como o modelo de impressora utilizado permitia o uso de temperaturas até 548K (275°C), usou-se 523K (250°C) como temperatura “segura” para a termoselagem.

Tabela 2. Configuração da Sethi3D S4X para Termoselagem

Exemplo de Material	Tipo de Material	Temperatura de Fusão [K]	Altura Z*	Configuração da Impressora 3D		
				Velocidade de Deslocamento [m/s]	Temperatura de Extrusão [K]	Papel Al. no topo
Ziploc	Polipropileno (PP)	363.6 - 373	Z-0.2	0.01 m/s	523	SIM

3. CONCLUSÃO

Os resultados da utilização do polipropileno como substituto do BOPP para a prototipagem da concha do líquido dielétrico mostrou-se tanto prático, pela maior facilidade de se encontrar as embalagens de zip loc no mercado, quanto eficiente, pelos testes executados com esse material que apresentaram resultados próximos aos atuadores feitos usando a película de BOPP.

Entretanto, constatou-se que o uso da impressora 3D como seladora térmica é demasiadamente complexo, sendo necessário adaptações não somente no code G do arquivo, como também uma precisão de 0.00001 m (0.01 mm) no

eixo Z para o selamento adequado das folhas de PP, essa dificuldade porém, foi mitigada pelo autores ao fazer-se uso de uma impressora 3D com sensores de nivelamento automático.

4. REFERÊNCIAS

- Choi, K. Y. e Ishii, H., 2021. “Therms-Up!: DIY Inflatables and Interactive Materials by Upcycling Wasted Thermoplastic Bags”. In *Proceedings of the Fifteenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction* (Salzburg, Austria) (TEI '21). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 51, 8 pages. <<https://doi.org/10.1145/3430524.3442457>>.
- Mitchell, S. K., Wang, X., Acome, E., Martin, T., Ly, K., Kellaris, N., Venkata, V. G. e Keplinger, C., 2019. “An easy-to-implement toolkit to create versatile and high-performance HASEL actuators for untethered soft robots”. In *Adv. Sci.* 6, 1900178 (2019).

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.