

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

DESENVOLVIMENTO DE MÚSCULOS ARTIFICIAIS POR POLÍMEROS ELETROATIVOS

Código: CON-2016-0095

Resumo: Este trabalho apresenta uma pesquisa sobre o desenvolvimento de uma mão artificial utilizando polímeros eletroativos como músculos artificiais e os dados técnicos sobre o funcionamento destes polímeros. Realizaram-se testes para a escolha de um corpo de prova padrão do qual seriam desenvolvidos os atuadores, bem como testes para a definição do número de camadas, da espessura e da quantidade de eletrodo flexível ideais para a construção dos mesmos. Após isso, fez-se a montagem e os testes de funcionamento dos atuadores em bancada de testes e instalados na mão artificial. Constatou-se que, para um atuador multicamadas de 65x15mm de comprimento útil (aquele que reage à tensão), a espessura que apresentou melhor tração foi a de 250 micrometros para 5 camadas, quando acionada com 5,38kV e composta por graxa grafite como eletrodos flexíveis de 0,15 gramas por camada. A curvatura de dobramento de dedo está linear com a tensão elétrica aplicada no atuador inferior do dedo enquanto a tensão para o superior era mantida constante a 4,8 kV. Baseando-se neste trabalho uma mão mais sofisticada poderá ser desenvolvida.

Palavras-chave: Músculos artificiais; Polímeros Eletroativos; EAP's; Atuadores com Polímeros Eletroativos.

1. INTRODUÇÃO

A cada dia, novos materiais são descobertos com novas características. Os polímeros estão ganhando mais espaços e aplicações. Esta pesquisa voltou-se para desenvolver atuadores com músculos artificiais utilizando polímero eletroativo, simulando funcionamento de um músculo natural. A maioria dos atuadores encontrados atualmente no mercado apresentam problemas como preço, peso, complexidade mecânica, elevado número de peças móveis, desgaste com atrito, sensibilidade às vibrações e por apresentarem limites construtivos.

A utilização de polímero eletroativo para construir atuadores poderá eliminar grande parte, ou todos, os problemas citados. Segundo Possebon (2014), a engenharia protética, que atua na confecção de próteses, teria um ganho significativo se conseguisse atuadores que possam simular músculos naturais.

O objetivo geral deste trabalho consiste na obtenção de atuadores multicamadas a fim de construir futuramente de uma mão mecânica utilizando o polímero comercial VHB® 4905, da empresa americana 3M.

Os objetivos específicos do trabalho são: (1) a obtenção de dados técnicos, referentes ao comportamento eletromecânico do atuador construído: a melhor espessura, a quantidade de camadas ideal e a quantidade de eletrodo a ser depositado no polímero; (2) Obter a relação entre a tensão aplicada e a curvatura real do atuador construído e instalado no mecanismo.

2. POLÍMEROS ELETROATIVOS

Para Bar-Cohen (2004), os polímeros eletroativos, mais conhecidos como EAP's (do inglês *electroatvie polymers*), obviamente, são polímeros que apresentam deformação em sua forma quando estimulados eletricamente. Os EAP's podem ser divididos em dois grandes grupos: os iônicos (que apresentam a mobilidade e difusão de íons) e os eletrônicos (deformam via campos elétricos ou forças de Coulomb). Como a principal motivação do trabalho não é explicitar todas as diferenças entre os grupos de polímeros, apenas o subgrupo dos polímeros eletroativos dielétricos (classificação do polímero utilizado nesta pesquisa), que pertence ao grupo dos polímeros eletroativos eletrônicos, será amplamente abordado. (Possebon 2014)

2.1. Polímeros eletroativos dielétricos

Scrosati (1993) afirma que polímeros eletroativos dielétricos trabalham como transdutores, transformam uma forma de energia em outra. Mais precisamente, neste caso, o polímero transforma energia elétrica em energia mecânica através da variação de sua forma *versus* a tensão aplicada.

Na construção de atuadores com polímeros eletroativos, deve dar-se preferência por polímeros altamente flexíveis, de baixa rigidez elástica e, de preferência, com elevada constante dielétrica.

A funcionalidade e mecânica dos polímeros eletroativos dielétricos lembra um capacitor de placas paralelas: onde o efeito capacitivo entre eletrodos flexíveis, alocados em sua superfície, deformam o material. (Possebon 2014, Wallace 2008, Kim 2007).

Como o polímero VHB 4905 é bem flexível, uma vez tracionado em um, ou dois, de seus eixos, terá uma diminuição de sua espessura (considerando a espessura como o eixo z). A figura 1 representa essa afirmação de maneira mais clara.

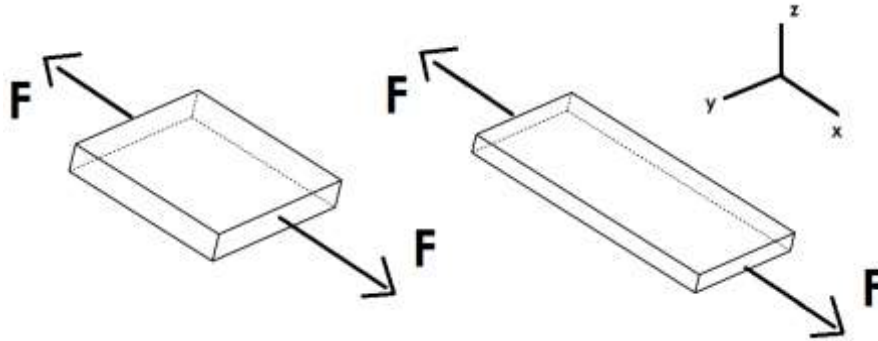


Figura 1. Representação do comportamento de um polímero elástico quando tracionado em um dos seus eixos. (Brandup 1999 adaptado pelo autor)

2.2. Princípio de funcionamento de um atuador construído com polímeros eletroativos dielétricos

Pelo princípio da Lei de Coulomb, onde cargas elétricas puntiformes formam uma força de atração que é diretamente proporcional ao produto do módulo dessas cargas e inversamente proporcional à distância entre elas. A força de Coulomb pode ser expressa pela Eq.(1).

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r} \quad (1)$$

A Figura 2 representa com maior fidelidade o funcionamento de um EAP's pelo princípio de placas paralelas.

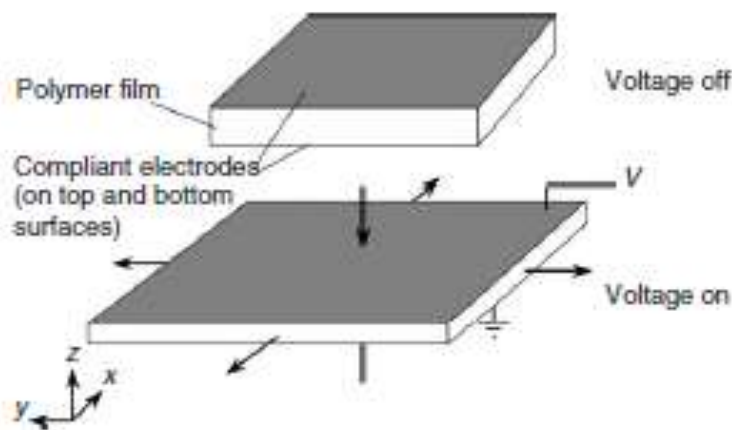


Figura 2. Comportamento de um polímero eletroativo pelo princípio de placas paralelas. (Bar-Cohen 2004)

Bar-Cohen (2004) também apresentou diferentes configurações para montagem de atuadores via EAP's como ilustra a Fig. 3. A configuração e construção do atuador deve ser decidida após ter-se conhecimento do objetivo do mesmo. Um atuador de EAP's dificilmente servirá para diferentes funções, mesmo que apresente curso e força suficientes. Uma das desvantagens do EAP's é esta: são construídos para uma determinada função, não podendo alterar sua configuração. (Lyons 1994)

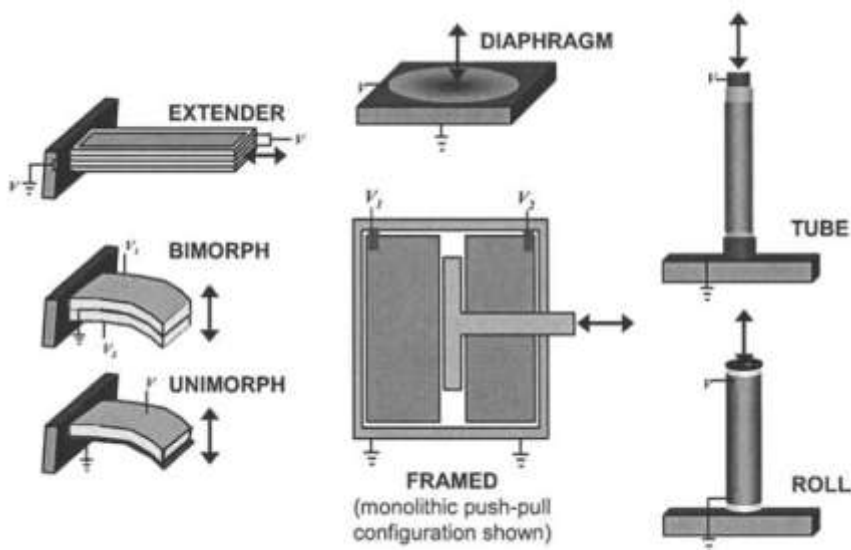


Figura 3. Diferentes configurações para a montagem de atuadores. (Bar-Cohen 2004)

2.3. Desenvolvimento de atuadores multicamadas com músculos artificiais

A construção de atuadores monocamadas limita as características mecânicas destes, principalmente no que diz respeito à força produzida pelo atuador. Para resolver tal problema é realizada a construção de atuadores no modo de multicamadas. A figura 4 demonstra algumas configurações dos atuadores multicamadas e as respectivas ligações dos seus eletrodos.

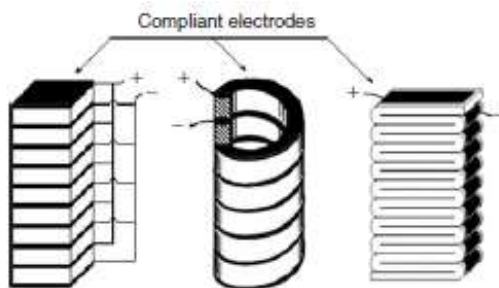


Figura 4. Diferentes configurações para a construção de atuadores com multicamadas. (Bar-Cohen 2004)

A figura 5 demonstra a montagem de um atuador do tipo multiângulos, com 4 polos (eletrodos) que pode ter movimentos para 4 direções: curvado para frente, para trás, para a esquerda e para a direita. Além disso consegue comprimir-se e alongar-se.

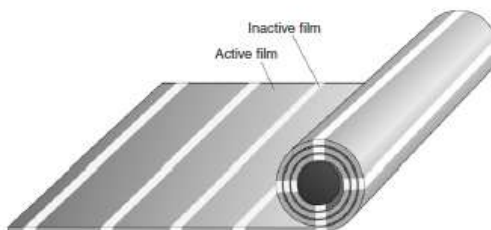


Figura 5. Construção de um atuador multicamadas com ação em múltiplos eixos. (Bar-Cohen 2004)

A configuração de montagem acima citada resulta em atuadores como mostra a Figura 6. Estes tipos de atuadores funcionam de maneira simples: quando todos os polos estão acionados, o atuador estica; quando se diminui a tensão em algum dos polos, o atuador tende a curvar-se para aquela direção. Na Figura 7 a construção do atuador fica mais detalhada.

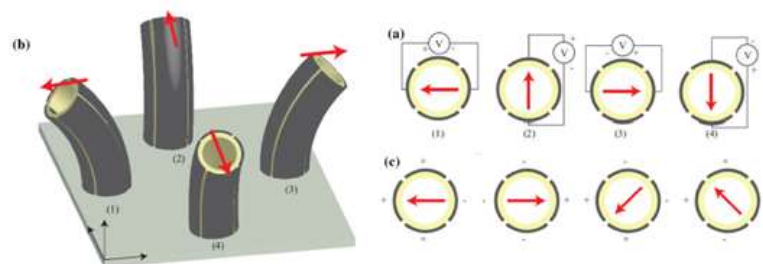


Figura 6. Atuador com ação em múltiplos eixos e seu funcionamento. Em (a) a ligação feita e em (b) o movimento resultante. Em (c) mostra-se diferentes ligações. (Bar-Cohen 2004)

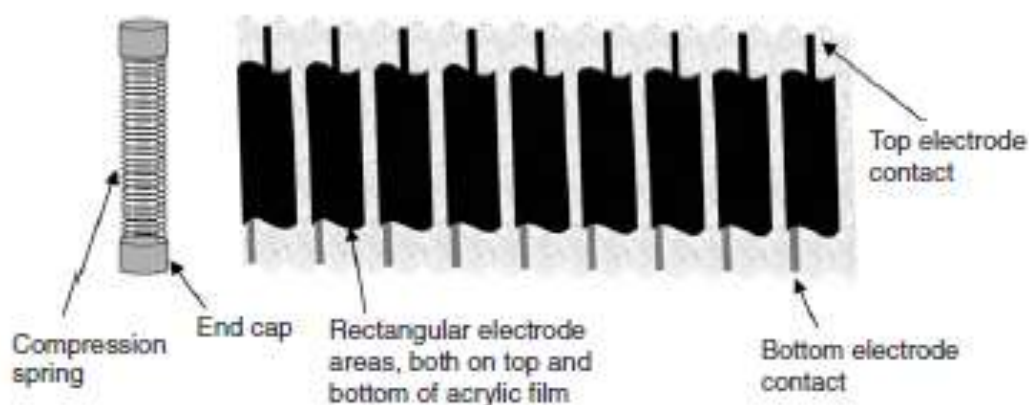


Figura 7. Detalhe da construção de um atuador multieixos. (Bar-Cohen 2004)

2.4. Comportamento mecânico do polímero VHB 4905

Em sua pesquisa, Possebon (2014) coletou dados acerca do polímero utilizado no presente trabalho. É relevante que se grife alguns pontos:

- Quanto menor a velocidade de tração (abertura) do polímero, a fim de diminuir sua espessura, mais uniforme este resultará;
- A espessura que apresentou os melhores resultados com o polímero VHB 4905 foi a de $30\mu\text{m}$;
- Para esta espessura, o tempo de rearranjo das moléculas (estabilização) é de aproximadamente 6 horas.

Por se tratar de um produto comercial, alguns outros dados do polímero VHB 4905 podem ser adquiridos diretamente com o fabricante que disponibiliza o *datasheet* do material. É relevante saber que o Módulo de Young é de 5×10^3 KPa, o coeficiente de expansão térmica é $1,8\text{mm/mm}/^\circ\text{C}$ e que o coeficiente de Poisson é 0,5.

3. METODOLOGIA

3.1. Elaboração de multicamadas

Independente da configuração que fosse escolhida para o atuador, ele deveria ser obrigatoriamente multicamadas. A vantagem deste tipo de montagem já foi citada, que é o significativo ganho em força.

A Figura 8 mostra as lâminas de polímero VHB 4905 sendo tracionadas e na estrutura de descanso para obter homogeneidade após a fluência. As lâminas de polímero foram esticadas com uma velocidade de $0,5\text{mm/s}$.

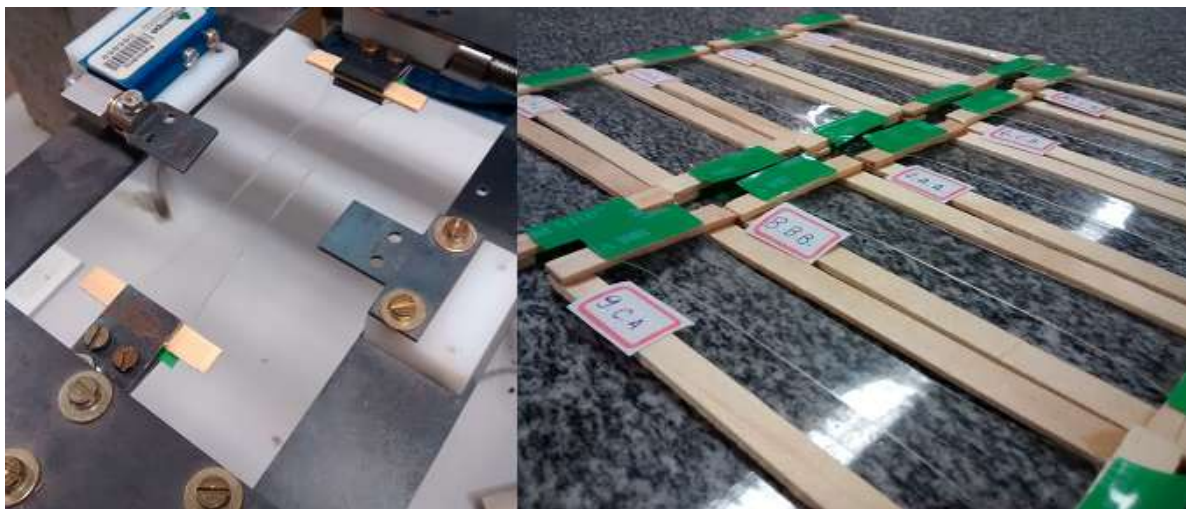


Figura 8. Trabalho de alteração da espessura do polímero (à esquerda) e descanso para fluência (à direita).

3.2. Modelo para simular a mão humana

Foi escolhido o modelo para simular a mão humana, um produto comercializado no mercado. Trata-se de uma “mão robótica” de brinquedo. Figura 9 apresenta o modelo escolhido. É um produto da empresa Glassite.



Figura 9. Mecanismo utilizado como base. Mão de brinquedo fabricada pela Glassite.

O produto tem as características esperadas: tem baixo custo, é flexível na parte dos dedos, tem boa resistência mecânica e é de plástico, que é um material isolante. Mas os dedos estão sem atuadores.

3.3. Eletrodo flexível

Com o polímero esticado e uniformizado, fez-se a pintura do primeiro eletrodo flexível. A pintura dos eletrodos foi a graxa grafite da marca Static Control. Após da pintura, usou-se papel alumínio para fazer a união dos polos iguais.

Figura 10 mostra a conclusão das primeiras duas camadas. O processo é o mesmo para as seguintes camadas até alcançar-se o número de 5 camadas.



Figura 10. As primeiras duas camadas do polímero pintadas com graxa grafite servindo como o eletrodo flexível.

3.4. Instalação dos atuadores na mão

Como interessava ao projeto somente que os dedos tivessem movimentos em dois sentidos, abertos e curvando-se para fechar, optou-se pela montagem dos atuadores da maneira mais simples: um atuador na parte superior do dedo, e outro na parte inferior, bem como estão dispostos os músculos naturais da mão humana. Cada atuador precisa receber dois fios da placa amplificadora de tensão. Para isolamento dos atuadores, usou-se fita isolante flexível e fita de autofusão, ambas da empresa americana 3M. A Figura 11 apresenta a mão com os atuadores instalados.



Figura 11. Mão com os atuadores instalados e fios conectados.

3.5. Sistema de acionamento dos atuadores

Os atuadores necessitam de elevadas voltagens para serem acionados. Essas voltagens estão entre 1kV e 5kV (kilo volts). Foi desenvolvido um circuito de controle de alta tensão. Este circuito recebe sinais de 0 a 10 volts e emite um ganho em cima deste sinal, que é de aproximadamente 1000 vezes. Esse circuito é controlado por um módulo NI9263, como mostra a Fig. 12, que, comandado por computador emite sinal analógico de 0 a 15 volts.



Figura 12. Módulo de controle analógico NI9263 da National Instruments.

O módulo NI9263 imprime uma voltagem na entrada do circuito de alta tensão da Fig. 13. Este circuito tem capacidade de acionar 4 canais simultaneamente ou independentemente. Conta com 4 elevadores de voltagem modelo F101CT EMCO High Voltage.

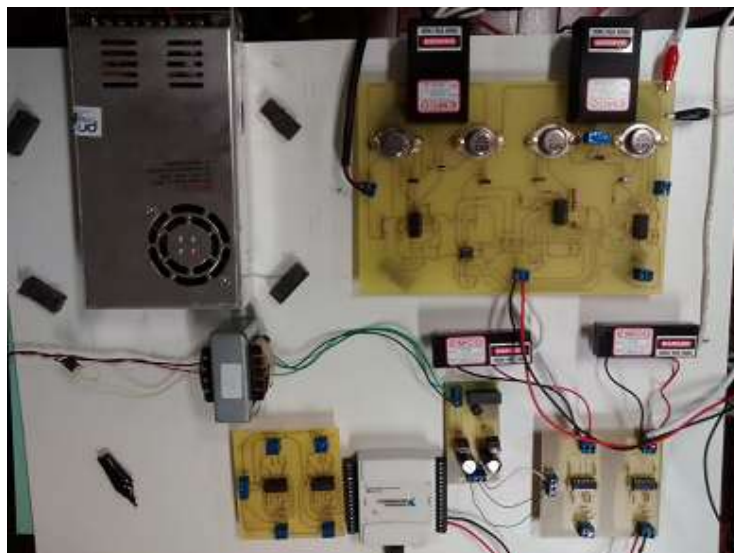


Figura 13. Circuito amplificador de tensão com módulos F101CT da EMCO.

O módulo NI9263 é versátil, mas a programação do mesmo não é tão simples e este não aceita controladores externos. A saída encontrada foi o uso de um microcontrolador ATMEGA 328, em uma placa Arduino Uno R3. A vantagem do Arduino é que a criação de uma rotina de tensões aplicadas nos atuadores é mais simples de ser feita. A desvantagem é que ele consegue imprimir somente até 5v sem auxílio de circuitos externos. Porém com 5v na entrada do amplificador, este emite valores de 5kV, o que é mais que o necessário para os atuadores construídos. A Figura 14 mostra a placa Arduino em conjunto com a interface via display.



Figura 14. Placa Arduino R3 utilizada para realizar sequências específicas de movimentos com os atuadores.

Para resultados quanto à capacidade de tração dos atuadores, colocou-se os atuadores construídos na plataforma e usou-se as células de carga presentes na plataforma de tração biaxial, a mesma utilizada para esticar os polímeros antes da montagem dos atuadores. Após os atuadores serem instalados, eram submetidos a diferentes tensões na plataforma, assim sendo coletados dados de capacidade de tração dos mesmos quando acionados. As células de carga são do modelo LCEB-10 da Omega Engineering com capacidade de aproximadamente 44,482 N (Newtons). Figura 15 mostra, à esquerda, a posição das células de carga citadas, e à direita as especificações da mesma.

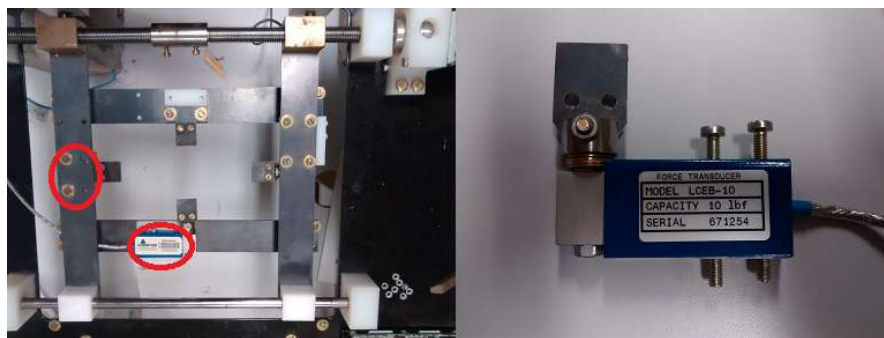


Figura 15. Posição das células de carga na plataforma de tração do polímero e imagem da célula de carga utilizada.

3.6. Métodos utilizados para a obtenção dos resultados quanto aos objetivos específicos do trabalho

Para que os objetivos específicos do trabalho pudessem ser concretizados, uma série de dados técnicos deveriam ser obtidos. Para o aferimento da melhor espessura encontrada, usou-se um medidor de espessura como mostra a Fig. 16. O medidor é o modelo M-73212 com escala milesimal da marca brasileira Mainard.



Figura 16. Medidor de espessura Mainard modelo M-73212.

Para resultados quanto à capacidade de tração dos atuadores, colocou-se os atuadores construídos na plataforma e usou-se as células de carga presentes na plataforma de tração biaxial, a mesma utilizada para esticar os polímeros antes da montagem dos atuadores. Após os atuadores serem instalados, eram submetidos a diferentes tensões na plataforma, assim sendo coletados dados de capacidade de tração dos mesmos quando acionados. As células de carga são do modelo LCEB-10 da empresa americana Omega Engineering Inc com capacidade de aproximadamente 44,482 N (Newtons). A Figura 17 mostra, à esquerda, a posição das células de carga citadas, e à direita as especificações da mesma.

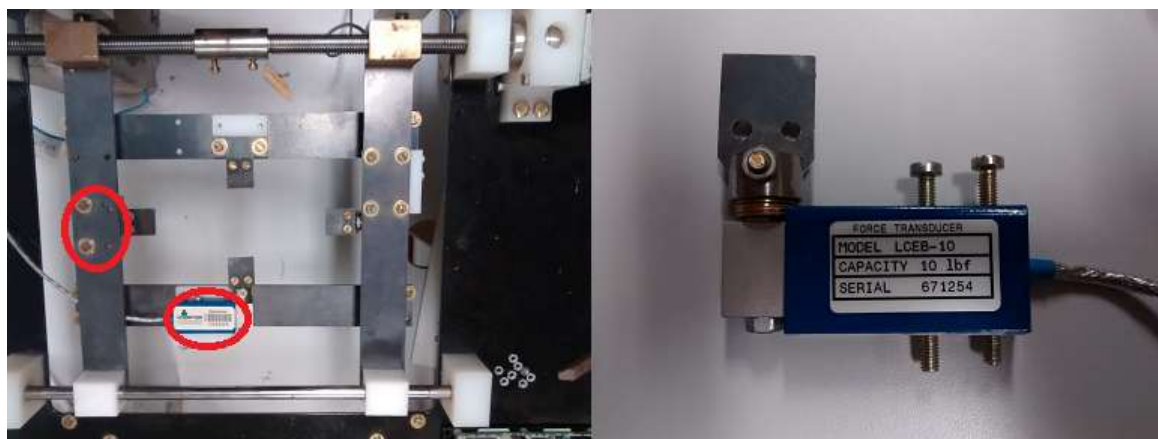


Figura 17. Posição das células de carga na plataforma de tração do polímero e imagem da célula de carga utilizada.

4. RESULTADOS

4.1. Dimensão padrão de corpo de atuador adequado para a mão simulada

Após os ensaios, a dimensão do filme polímero que atenderia os requisitos para desenvolver o atuador a ser instalado na mão simulada deveria ter um comprimento útil (reativo à eletricidade) de aproximadamente 60 mm e uma largura total de aproximadamente 15 mm. A quantidade de camadas poderia variar entre 4 e 5. A largura útil deveria ser de 11 mm aproximadamente. Figura 18 representa o padrão escolhido.

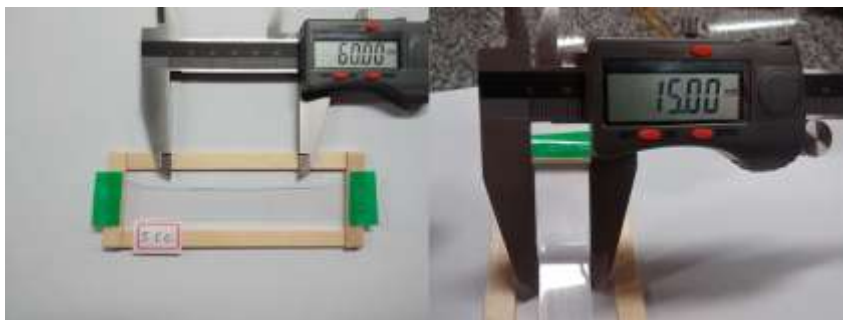


Figura 18. Padrão escolhido para os corpos de teste dos atuadores.

4.2 Relação entre a espessura, número de camadas e quantidade de graxa grafite aplicada

Sabendo que o corpo de ensaio padrão deveria obedecer algumas pré-especificações, começou-se um trabalho de criação de vários corpos de diferentes espessuras, com 4 e 5 camadas, ativadas com entre 0 e 6,5 kV. Os resultados serão apresentados em porcentagem acima e abaixo do valor médio de força conseguido em todos os ensaios. A Tabela 1 apresenta os resultados de força relativa quanto variando-se o número de camadas, a espessura aproximada e o a quantidade aproximada de massa aplicada do eletrodo flexível.

Pela Tabela 1, percebe-se que mais camadas apresentam mais força relativa e mais alta da tensão de rompimento. Isto é lógico pois, mais camadas, há mais contribuição à compressão no polímero e mais espessura total que dificulta o rompimento. Para mesmo número de camadas, mas, com a espessura de cada camada maior, o feito é mesmo como tem mais camadas, ou seja, mais força relativa e mais alta da tensão de rompimento. Contudo, não é sempre que aumentar a espessura dará mais força, assim, há um limite na espessura que contribui maior força. Ele está em torno de 250 micrometros. Apesar da maior quantidade de eletrodo flexível aplicado pode resultar mais força relativa, mas baixar a tensão de rompimento também. Pode-se explicar que mais quantidade da graxa grafite produz mais carga elétrica, consequentemente, mais força de Coulomb. Com este resultado, podemos sugerir que o uso de graxa misturado com pó de cobre ou prata até ouro poderá produzir mais a força de Coulomb, pois há mais elétrons disponíveis nos metais.

Tabela 1. Resultados dos testes de força de tração dos corpos de testes com o melhor resultado em ênfase.

Nº de camadas	Espessura (micrometros)	Quantidade de graxa grafite (gramas)	Força relativa (%)	Tensão de Rompimento (kV)
4	30	0,2	17,5	3,60
4	30	0,3	19,2	3,54
4	30	0,4	20,9	3,30
4	50	0,2	18,8	3,64
4	50	0,3	20,2	3,62
4	50	0,4	23,0	3,60
4	75	0,3	22,5	3,69
4	75	0,4	24,3	3,71
4	75	0,5	25,0	3,69
4	100	0,3	28,8	3,82
4	100	0,4	33,1	3,80
4	100	0,5	35,6	3,78
4	125	0,3	38,4	3,95
4	125	0,4	39,1	3,93
4	125	0,5	41,4	3,90
4	150	0,4	52,0	4,13
4	150	0,5	55,2	4,10
4	150	0,6	58,7	4,05
4	200	0,4	60,1	4,58
4	200	0,5	63,8	4,47
4	200	0,6	68,9	4,42
4	250	0,6	78,4	4,98
4	250	0,7	83,2	5,00
4	300	0,6	82,0	5,08
4	300	0,7	79,8	5,00
4	350	0,7	72,1	6,03

Nº de camadas	Espessura (micrometros)	Quantidade de graxa grafite (gramas)	Força relativa (%)	Tensão de Rompimento (kV)
5	30	0,2	25,6	3,55
5	30	0,3	26,9	3,54
5	30	0,4	32,2	3,49
5	50	0,2	36,5	3,71
5	50	0,3	38,0	3,70
5	50	0,4	40,6	3,67
5	75	0,3	44,7	3,78
5	75	0,4	47,2	3,76
5	75	0,5	51,0	3,65
5	100	0,3	53,5	3,90
5	100	0,4	58,8	3,86
5	100	0,5	62,3	3,85
5	125	0,3	66,6	4,08
5	125	0,4	70,0	4,05
5	125	0,5	76,4	4,01
5	150	0,4	68,2	4,45
5	150	0,5	70,1	4,40
5	150	0,6	79,6	4,31
5	200	0,4	88,3	5,03
5	200	0,5	90,6	5,00
5	200	0,6	91,8	4,98
5	250	0,6	100	5,38
5	250	0,7	97,6	5,30
5	300	0,6	83,2	6,00
5	300	0,7	76,8	5,76
5	350	0,7	60,1	6,58

4.3 Relação entre a tensão aplicada e a curvatura dos dedos

Figura 19 apresenta o movimento da mão fechando, quando os atuadores superiores estavam com a tensão máxima (4,8 kV) e os inferiores tinham sua tensão reduzida seguindo uma rampa decrescente.



Figura 19. Raio de curvatura reduzindo ao modo que se aumenta a diferença de tensões nos atuadores superiores e inferiores.

Tabela 2 apresenta a relação entre tensões aplicadas e raios de curvatura do dedo, que mais conseguiu se curvar. O mecanismo utilizado possui ruídos mecânicos (atrito), portanto o dedo que mais se movimentasse, seria o com menor ruído. A relação está apresentada em porcentagem do raio máximo, visto que em um redimensionamento do sistema, tal regra se aplica.

Tabela 2. Relação entre a tensão aplicada no atuador inferior e raio de curvatura do dedo. A tensão aplicada nos atuadores se mante no 4,8 kV.

Tensão aplicada (kV)	Raio de curvatura do dedo (%)
0,50	100,0
1,00	96,3
1,50	90,7
2,00	87,2

Tensão aplicada (kV)	Raio de curvatura do dedo (%)
2,50	79,8
3,00	72,1
3,50	64,3
4,00	58,4
4,50	47,8
5,00	39,1
5,50	26,5
6,00	30,3

Os resultados da Tabela 2, quando analisados em um gráfico, resultam na Figura 20. A relação é quase linear.

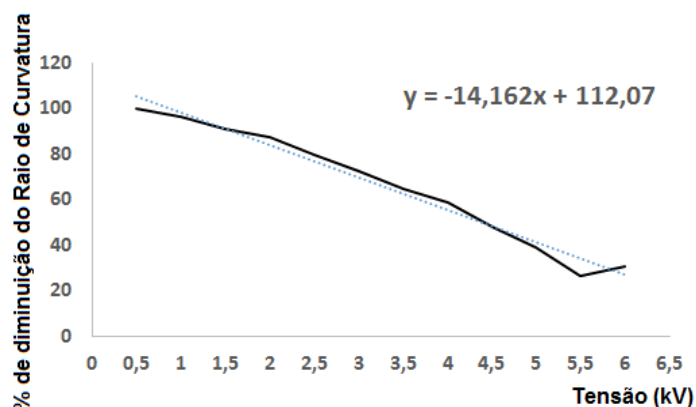


Figura 20. Análise dos dados da Tabela 2 em gráfico e equação aproximada.

5. CONCLUSÕES

É importante que se façam algumas afirmações importantes acerca das conclusões baseadas nos resultados. Os resultados delimitam-se ao estudo do caso apresentado neste trabalho. Também é interessante salientar que este projeto é um trabalho continuado, que tem aproximadamente 4 anos de pesquisa e execução.

Quanto às conclusões sobre os resultados, selecionam-se alguns pontos importantes que devem ser grifados:

- A espessura ideal para trabalho de um atuador multicamadas varia com o número de camadas a ser utilizado;
- No caso deste trabalho, em um atuador de 5 camadas com comprimento útil de 65x15(mm) a melhor espessura foi a de 250 micrometros acionada com 5,38kV;
- A massa de eletrodo flexível ideal para o caso é de 0,6 gramas (ou 0,15 gramas por camada ativa);
- A diminuição do raio de curvatura entre 0,5kV e 6kV foi de aproximadamente 70%;
- A massa máxima suportada pelo mecanismo utilizado foi de 243,3 gramas de água;
- O número de movimentos completos executados sem falha dos atuadores, com a tensão de máxima força, foi de 3281 movimentos;
- A máxima frequência na variação de tensão entre 0 e 5,4kV aplicável sem falha foi de 0,5 Hz;
- A máxima tensão aplicável para o atuador sem carga foi de 8kV.

Uma autocrítica também se faz necessária neste momento do trabalho. Não foi criada uma condição climática padrão para todos os testes, existiram variações de umidade, temperatura e exposição a luz. Esses fatores influenciam nos resultados. Outro ponto é a proximidade da data de validade do polímero que foi utilizado com as atividades executadas com o mesmo, que provavelmente alteraram algum parâmetro mecânico do polímero.

Mesmo com todos os empecilhos que foram encontrados durante a pesquisa, termina-se este trabalho com o objetivo principal e os objetivos específicos concretizados com sucesso. Realça-se que este trabalho não está em fase de conclusão, e sim de uma constante evolução que trará resultados com o tempo, sejam estes positivos ou não.

6 AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) que tem fomentado esta pesquisa financeiramente desde o começo até o momento.

Aos técnicos da Universidade Federal do Pampa, *campus* Alegrete, pela constante ajuda prestada sempre que foi solicitada.

7. REFERÊNCIAS

- Bar-Cohen Y., 2004 “Electroactive polymer (EAP) actuators as artificial muscles: reality, potential, and challenges”, 2nd ed., SPIE, Washington.
- Possebon, R. 2014 “Desenvolvimento de músculos artificiais através de polímeros eletroativos”, Trabalho de conclusão de curso apresentado na Universidade Federal do Pampa, 68p;
- Scrosati, B., 1993 “Applications of Electroactive Polymers” Chapman & Hall, London, 312p.
- Spinks, G. M., 2003 “The amounts per cycle of polypyrrole electromechanical Actuator”. *Smart Mater. Struct.*, 12(3), 468–472.
- Lyons, M. E. G. 1994 “Charge Percolation in Electroactive Polymers. In *Electroactive Polymer Electrochemistry*”, Plenum Press: New York – USA
- Wallace, G. G. (2003). The amounts per cycle of polypyrrole electromechanical actuators. *Smart Mater. Struct.*, 12(3), 468–472.

8. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

MUSCLE DEVELOPMENT IN ARTIFICIAL POLYMERS ELECTROACTIVE

Code: **CON-2016-0095**

Abstract. *This paper presents a survey of the development of an artificial hand using electroactive polymers as artificial muscles and technical data on the operation of these polymers. Tests were carried out for the choice of a standard specimen which would be developed actuators, as well as testing for defining the number of layers, thickness and the amount of ideals flexible electrode for the construction thereof. After that, there was mounting and actuators operating tests in bench testing and installed in the artificial hand. It was found that for a multilayer actuator 65x15mm useful length (one that reacts to stress), the thickness presented the best tensile was 250 microns for layers 5, when triggered 5,38kV with grease and comprising graphite as electrode flexible 0.15 grams per layer. The folding finger curvature is linear with applied voltage the lower actuator finger while the voltage for the top was kept constant at 4.8 kV. Based on this work a more sophisticated hand can be developed.*

Keywords: *Artificial Muscles; Electroactive polymers; EAP's; Actuators With Electroactive Polymers.*