



## Dispositivos Flexíveis Baseados em Compósitos de Poliuretano e Óxido de Grafeno Reduzido para Aplicações em Sensoriamento Táctil

Flávio A. Borges<sup>\*1</sup>, João H. Clerici<sup>1</sup>, Daniel M. Ugarte<sup>1</sup>, Cecília C. C. Silva<sup>2</sup>, Talita Mazon<sup>3</sup> e Mônica A. Cotta<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Instituto de Física "Gleb Wataghin", Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, 13083-859, Campinas, SP, Brasil

<sup>2</sup>MackGraphe, Universidade Presbiteriana Mackenzie, 01302-907, São Paulo, SP, Brasil.

<sup>3</sup>Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer, CTI, 13069-901, Campinas, SP, Brasil.

### Resumo

Novas oportunidades têm sido criadas com os avanços da tecnologia de dispositivos vestíveis (wearables). Para o sensoriamento de pressão em objetos macios, como a pele humana, o contato direto entre sensor e superfície é necessário. Portanto, a flexibilidade dos sensores tem grande importância para a viabilidade do dispositivo sensor.

Neste trabalho, desenvolvemos um sistema de sensoriamento que traduz sinais elétricos durante a compressão de compósitos baseados em poliuretano (PU) e óxido de grafeno reduzido (r-GO) fabricados *in-house*. O óxido de grafeno (GO) é depositado em espumas de PU e reduzido posteriormente por imersão em ácido ascórbico. Diferentes densidades e espessuras das espumas de PU foram testadas; pudemos reduzir a espessura a 1mm e obter uma variação de 1-100 kΩ para uma compressão de 90%.

A resistência elétrica das amostras foi medida em função da força aplicada e um comportamento exponencial foi observado. Com o alcance de forças que as espumas permitem medir e as curvas de calibração obtidas para as amostras, um dispositivo rígido foi desenvolvido integrando sensores a um sistema Arduino, o que permitiu o desenvolvimento de uma interface gráfica para o *feedback* visual mais intuitivo ao usuário.

A espuma apresentou grande conformidade a superfícies irregulares após os processos de deposição do r-GO. Contatos flexíveis foram impressos em filme kapton usando tinta condutiva para obter um dispositivo flexível. Com a integração dos sensores macios aos contatos flexíveis, podemos desenvolver um dispositivo flexível funcional para aplicações de reabilitação neurológica. Ao fim do projeto, teremos um jogo que permite a exploração das capacidades tácteis de um indivíduo através do sistema desenvolvido.

**Palavras Chave:** *Wearables, Compósito de Grafeno, Sensores de Pressão*

### Introdução

As tecnologias de dispositivos vestíveis vêm crescendo junto com a eletrônica de sensores. Tais tecnologias permitem o monitoramento preciso e em tempo real de sinais vitais de organismos vivos. De tal forma, estes sensores têm apresentado grande importância em aplicações médicas. Porém, idealmente, eles precisam ser macios e flexíveis para permitir bom contato mecânico com tecidos biológicos, que tendem a ser macios e estar em constante movimento.

Neste projeto, fabricamos dispositivos flexíveis de baixo custo a partir de compósitos de poliuretano (PU) e óxido de grafeno (r-GO), integrando-os a um sistema que permite *feedback* visual. Para tal sistema, utilizamos uma placa Arduino e contatos flexíveis impressos em filme Kapton com tinta condutiva. O principal objetivo deste projeto é desenvolver um dispositivo que permita ao usuário explorar suas capacidades tácteis através de jogos que é praticado com *joysticks* que integram os sensores fabricados.

## Métodos

Durante o projeto, tivemos três etapas de desenvolvimento: fabricação, caracterização e integração. Primeiramente, testamos materiais e métodos de fabricação e caracterizamos as amostras que apresentaram melhor comportamento elétrico para aplicação desejada. Por fim, integramos os dispositivos desenvolvidos a um sistema completo com aplicação em reabilitação neurológica.

### Fabricação

Iniciamos o projeto com a fabricação dos sensores baseados em compósitos PU e r-GO. Primeiramente, selecionamos espumas comerciais com densidades variadas: espumas D18, D28, D35 e D45 (densidades  $16.2 \text{ kg/m}^3$ ,  $25.2 \text{ kg/m}^3$ ,  $31.5 \text{ kg/m}^3$  e  $40.5 \text{ kg/m}^3$ , respectivamente), as cortamos com área de contato  $10 \times 10 \text{ mm}^2$  e com espessura variável de 1-10 mm. Com o PU selecionado e cortado, o seguinte protocolo de dispersão do GO no PU foi seguido:

*Para a modificação da esponja de PU com dispersão de GO (2mg/mL), as esponjas foram imersas em dispersão de GO (2mg/mL) por 30 min, em seguida secas em estufa por 10 min a 80°C. Este procedimento foi repetido várias vezes (ciclos). Foram feitas amostras com 1, 2, 3, 4, 5 e 7 ciclos para estudo da variação das respostas desejadas em função de tal parâmetro. (ver figura 1)*

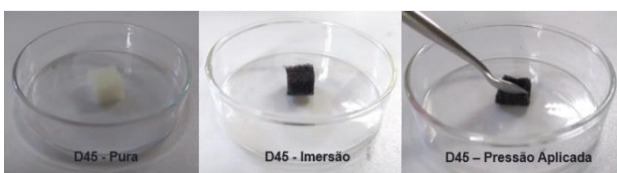


Figura 1: Fases de deposição de r-GO em uma amostra de espuma de PU D45.

Fizemos a redução do óxido de grafeno por imersão das amostras em solução de ácido ascórbico<sup>i</sup> com concentração 0,1 mol/L a aproximadamente 95 °C durante 3h.

A caracterização estrutural em microscópio eletrônico de varredura foi feita para que a aderência do r-GO às paredes das espumas de PU fosse estudada.

Os contatos flexíveis (intermitentes) foram impressos em fita Kapton com tinta condutiva a base de prata com a chapa da impressora aquecida a 60°C (ver figura 2).



Figura 2: Contatos intermitentes impressos em filme Kapton flexível com tinta condutiva a base de prata.

### Caracterização

Para caracterização dos sensores em função da força aplicada, desenvolvemos o *setup* das figuras 3 e 4, em que controlamos um motor que comprime a amostra a 90% de sua espessura na velocidade que definimos. Desta forma conseguimos obter o valor da resistência elétrica da amostra em função de sua compressão e força aplicada (medida por um sensor de força comercial Tekscan).

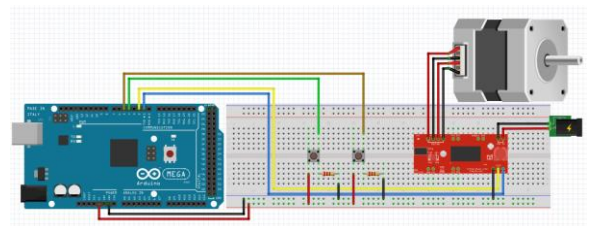


Figura 3: Esquemático elétrico para controle da compressão e relaxamento das amostras.

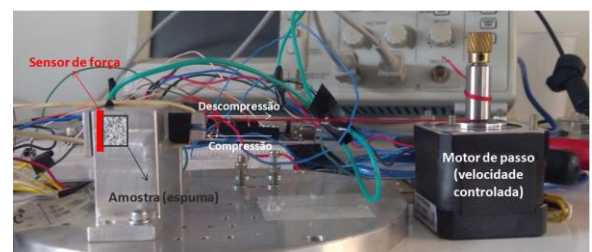


Figura 4: Montagem para testes de caracterização elétrica.

Com tal *setup* e um motor DC, pudemos estudar a resiliência do material aplicando 6000 compressões e descompressões de 90% da espessura de cada amostra e medir seu comportamento elétrico antes e após o teste.

## Integração

A integração dos dispositivos a um sistema funcional foi realizada utilizando o *setup* da seção anterior, removendo o motor. Nesta etapa a ação no toque humano no sistema foi utilizada, já que a força humana tem o papel principal nas aplicações de transdução táctil. Neste *setup*, foram utilizados contatos rígidos; deste modo, as forças atuadas nas amostras foram aplicadas normais às superfícies para a obtenção das curvas de calibração. Com esse sistema, desenvolvemos uma interface gráfica que permite a calibração de amostras individualmente e a transdução dos sinais a um *feedback* visual intuitivo.

Com a obtenção dos contatos flexíveis, nós os integramos a um novo *setup* mecânico que inclui um teclado cortado em acrílico e uma luva em látex (ver figura 5) que integra seis sensores e tem como principal funcionalidade servir como controladores para que usuários possam explorar suas capacidades tácteis.

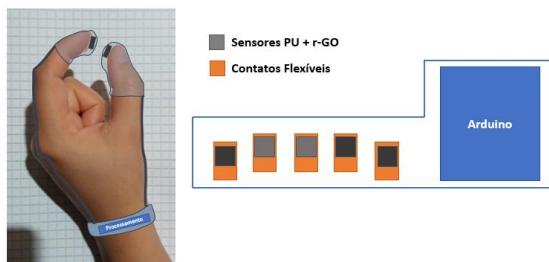


Figura 5: Integração dos sensores desenvolvidos a luva e teclado.

## Resultados e Discussão

Após a fabricação dos sensores em diferentes densidades, apenas as espumas D28 e D45 foram caracterizadas, já que as amostras D18 foram deformadas após o processo de deposição e as amostras D35 apresentaram resistência elétrica duas ordens maiores que as demais densidades.

Para as amostras D28 e D45, obtivemos as curvas de calibração com caráter exponencial. Como as amostras D45 são mais densas, elas apresentam um alcance de força maior, porém ambas densidades possuem o mesmo processamento para obtenção da curva de calibração de tensão na amostra em função da força aplicada (ver figura 6).

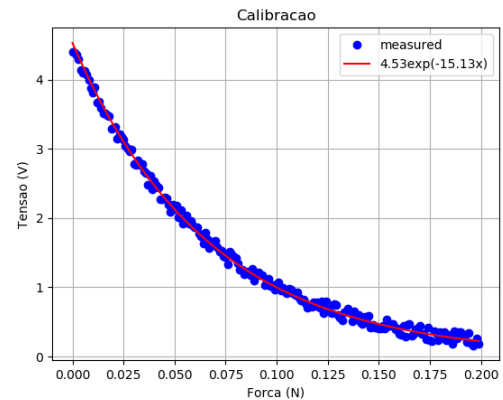


Figura 6: Curva de calibração para uma amostra de espuma D45.

As amostras foram caracterizadas em um microscópio de varredura eletrônica (ver figura 7) em que percebemos que flocos de r-GO aderem à parede da espuma de PU e permanecem aderidas após compressões. Após 6000 compressões, a estrutura do material e seu comportamento elétrico não foram alteradas significativamente.

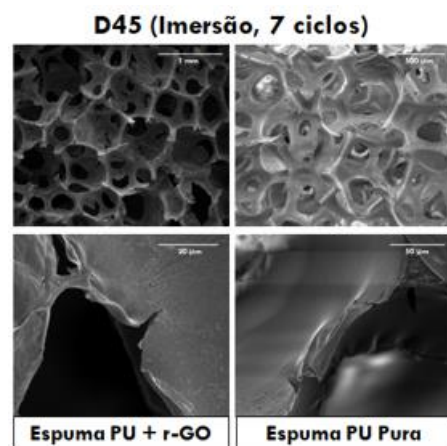


Figura 7: Imagens obtidas por microscopia de varredura eletrônica de uma amostra de espuma D45.

Após a validação da calibração do sensor e do desenvolvimento da interface gráfica com *feedback* visual (ver figura 8), o objetivo principal do trabalho se tornou a integração dos sensores

macios com os contatos flexíveis. O comportamento do sensor em conjunto com o contato foi testado e se mostrou comparável ao caso com contatos rígidos. Logo, um dispositivo *joystick* composto por uma luva e um teclado (ver figura 9) foi desenvolvido para que este seja utilizado em jogos lúdicos que exploram as habilidades tácteis do usuário. O objetivo do primeiro jogo é salvar o gato da famosa música “Atirei o Pau no Gato”. Este jogo está em desenvolvimento e deve ser lançado em breve como conclusão deste projeto.

(processo 116967/2019-6) e para as atividades realizadas no Laboratório de Nano e Biosistemas do IFGW – UNICAMP (processo 309285/2017-8).

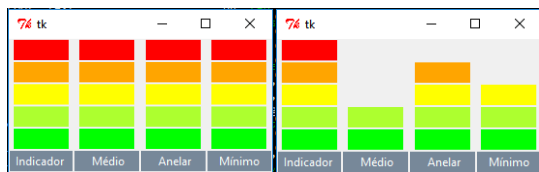


Figura 8: Interface gráfica de monitoramento de quatro sensores simultaneamente em tempo real.

## Conclusões

Obtivemos dispositivos sensores funcionais que medem a força aplicada em tempo real e com grande conformidade a superfícies macias e irregulares. Com tais resultados, foi possível iniciar o desenvolvimento de um dispositivo flexível com possível aplicação em reabilitação neurológica para indivíduos com sensibilidade táctil debilitada.

## Agradecimentos

Reconhecemos o suporte financeiro fornecido pelo CNPq para a bolsa de Iniciação Científica

---

<sup>i</sup>Fernández-Merino, M. J., Guardia, L., Paredes, J. I., Villar-Rodil, S., Solís-Fernández, P., Martínez-Alonso, A., & Tascón, J. M. D. (2010). Vitamin C is an ideal substitute for hydrazine in the reduction of graphene oxide suspensions. *The Journal of Physical Chemistry C*, 114(14), 6426-6432.