

## OTIMIZAÇÃO DE CONEXÕES ELÉTRICAS EM ELETRODOS IMPRESSOS EM 3D

**Ivan Verlangieri**

**Claudimir Lucio do Lago (P), Thawan Gomes de Oliveira (PG)**

**Lucio Angnes**

Instituto de Química / Universidade de São Paulo

ivanverlangieri@usp.br

### Objetivos

Eletrodos impressos em 3D têm atraído grande interesse nos últimos anos, em grande parte devido ao seu baixo custo, acessibilidade e facilidade de produção. Filamentos condutivos, normalmente poli(ácido lático) (PLA) misturado com negro de carbono (CB), são empregados. Estes eletrodos são limitados, porém, pela baixa condutividade dos filamentos, má compreensão de suas propriedades e grande resistência na conexão metal/semicondutor. O objetivo deste estudo é melhorar o contato elétrico de filamentos condutores, otimizar a compensação de quedas Ôhmicas em eletrodos impressos em 3D e caracterizar a performance e limitações de filamentos condutores.

### Métodos e Procedimentos

Dois corpos de prova foram projetados:

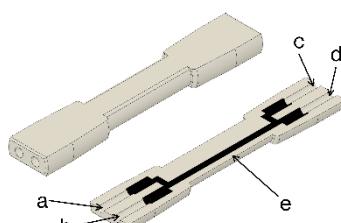


Imagen 1: Dispositivo para medidas de resistência

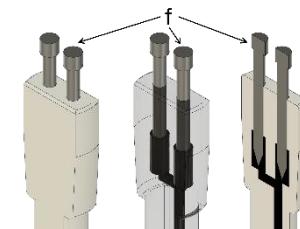


Imagen 2: Contatos elétricos dos dispositivos

Para as medidas de resistência, um corpo de PLA não condutor contendo trilhas de PLA-CB com diâmetro de 2 mm. Os contatos (a, b, c, d) foram projetados para a inserção de pregos ferromagnéticos (f).

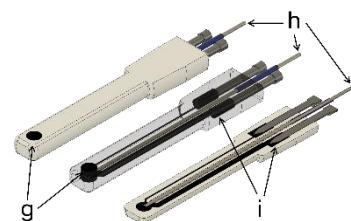


Imagen 3: Dispositivo eletroquímico

Para os estudos eletroquímicos, um eletrodo impresso em 3D contendo uma superfície eletroativa de PLA-CB (g) sendo conectada diretamente por uma corda de guitarra. Duas trilhas de PLA-CB, uma com diâmetro de 2 mm e outra de 0,5 mm, se apresentam como conexão alternativa (i).

Uma solução inovadora para a conexão metal/semicondutor foi desenvolvida, chamada Contato por Polímero Soldado (Welded Polymer Contact – WPC, em inglês). O contato contendo o prego é inserido na bobina de um indutor elétrico, aquecendo apenas o prego. O filamento então funde uniformemente ao redor do prego, melhorando o contato e permitindo conexões reproduzíveis e confiáveis.

## Resultados

A resistência do filamento PLA-CB apresenta variação consistente durante ciclagem de temperatura (a), comportamento que se mostra coerente mesmo com a ocorrência de histerese. A resistência de contato isolada varia de maneira imprevisível (b, c).

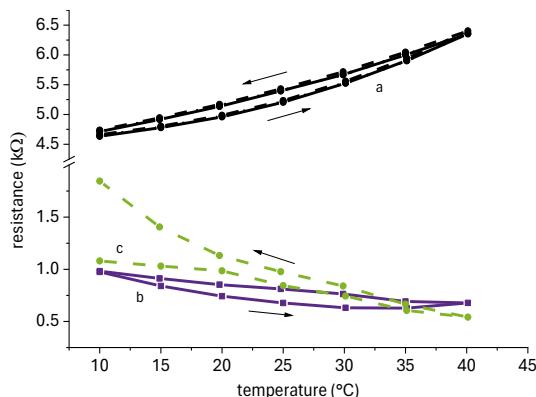
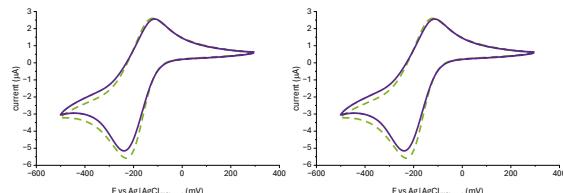
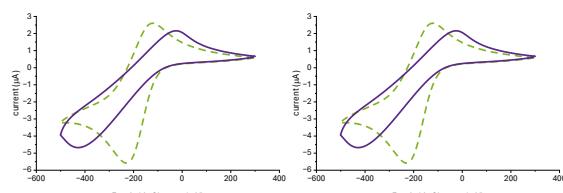


Gráfico 1: Resistência do filamento e de seus contatos correlacionada com temperatura.

Quedas Ôhmicas, geralmente desprezíveis, se tornam relevantes quando materiais com grande resistência, como PLA-CB, são utilizados. Foram desenvolvidos parâmetros para compensação da resistência. Voltametrias cíclicas de uma solução  $0,6 \text{ mmol.L}^{-1}$  de  $[\text{Ru}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$  em  $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$  de eletrólito suporte, utilizando a corda de guitarra como referência (verde pontilhado), podem ser comparadas com as trilhas não compensadas (roxo, esquerda) e compensadas (roxo, direita).



Voltamogramas A: Não compensado e  
B: Compensado de trilhas de diâmetro 2mm



Voltamogramas C: Não compensado e  
D: Compensado de trilhas de diâmetro 0,5mm

## Conclusões

A utilização de filamentos condutores em eletrodos impressos em 3D introduz resistência, que pode impactar as medidas eletroquímicas. Contudo, a implementação do WPC e de compensação da queda Ôhmica, antecipando o potencial e utilizando a instrumentação correta, permite manter o comportamento eletroquímico independentemente da significante resistência nos contatos elétricos.

## Agradecimentos

Este trabalho foi fomentado pela FAPESP (2017/13137-5). O autor agradece também pela bolsa concedida pelo CNPq (180838/2024-5).

## Referências Bibliográficas

- [1] Yanling Zheng et al., "A Review of Conductive Carbon Materials for 3D Printing: Materials, Technologies, Properties, and Applications," *Materials* 14, no. 14 (2021): 3911
- [2] R.D. Crapnell, A.G.M. Ferrari, M.J. Whittingham, E. Sigley, N.J. Hurst, E.M. Keefe, C.E. Banks, Adjusting the Connection Length of Additively Manufactured Electrodes Changes the Electrochemical and Electroanalytical Performance, *Sensors*, 22 (2022)