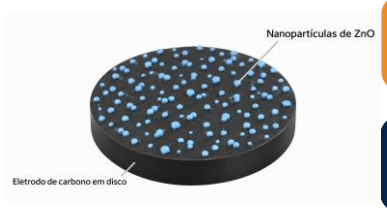
cbecimat26
26° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC

ELETRODOS EM SUPERCAPACITORES ELETROQUÍMICOS À BASE DE BIOCARVÃO ATIVADO POR LASER E NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE ZINCO

Fárlon F. S. Xavier[1,2]; Tiago M. Zavarize[3]; Heitor M. Petrone[3]; Rodrigo A. B. da Silva[2]; Sheila C. Canobre[1,2], Fábio A. Amaral[1,2]
1. Instituto de Ciências Agrárias – UFU; 2. Instituto de Química – UFU; 3. Faculdade de Engenharia Química – UFU.

Introdução

Os eletrodos impressos tem sido amplamente utilizados em sensores eletroquímicos e na eletroanalítica nos últimos anos [1,2]. No entanto, o seu uso como eletrodos em supercapacitores apresenta-se como candidato promissor, especialmente pela facilidade de preparo e de modificação, além da excelente resposta advinda das elevadas áreas superficiais dos materiais carbonáceos [3]. Ademais, a associação com óxidos incrementam na resposta final devido aos processos conjuntos de acúmulo de cargas e oxirredução que podem facilitar no desempenho final do compósito para aplicação como supercapacitores eletroquímicos.



PLA/CB (proporção 80/20) – protopasta comercial

Laser na potência de 250 W, varredura em uma área de 0,30 cm²

ZnO (nanopartículas) – 0,50 mg

Figura 1. Figura esquemática do eletrodo impresso 3D, na forma de disco, com nanopartículas de ZnO na superfície. [Gerada por IA].

Objetivos

Geral: Estudar eletroquimicamente o eletrodo impresso 3D de PLA/CB com a incorporação de nanopartículas de ZnO para aplicação como eletrodos em supercapacitores eletroquímicos.

- Imprimir eletrodos disco 0,30 cm^2 de área;
- Ativar, por laser, a superfície do eletrodo impresso;
- Preparar e aderir na superfície do eletrodo impresso nanopartículas de ZnO;
- Avaliar as respostas eletroquímicas do eletrodo para aplicação em supercapacitores.

Metodologia

1. Impressão 3D do eletrodo disco (A = 0,30 cm^2) de protopasta (PLA/CB) e ativação assistida por laser.
2. Síntese das nanopartículas de ZnO: precipitação de $Zn(OH)_2$ por meio de KOH 1 mol L^{-1} e acetato de Zn, com posterior calcinação à 300 ºC por 2 h.
3. Estudos eletroquímicos de voltametria cíclica, carga e descarga e espectroscopia de impedância eletroquímica.
4. Montagem do protótipo simulando supercapacitor simétrico e assimétrico e avaliação eletroquímica em Na_2SO_4 1 mol L^{-1}.

$$C_{esp} = (i \times E) / t \times m$$
$$E = (C_{esp} \times V^2) / 2$$
$$P = E / \Delta t$$

Resultados e Discussão

O eletrodo impresso e ativado com laser apresentou resultados promissores para aplicação em supercapacitor, no entanto a incorporação de nanopartículas de ZnO ampliou a resposta eletroquímica, como mostra a Figura 2A-B.

Tabela 1. Valores obtidos pelo teste de carga e descarga a 1 mA cm^{-2} em Na_2SO_4 dos eletrodos estudados.

Eletrodo	Qt / mC	C_{esp} / F g^{-1}	E / Wh kg^{-1}	P / kW kg^{-1}
3DC	1,213	97,04	13,48	0,674
3DCA	3,458	276,68	38,43	0,961
3DCA/ZnO	**6,709**	**536,72**	**74,54**	**1,242**

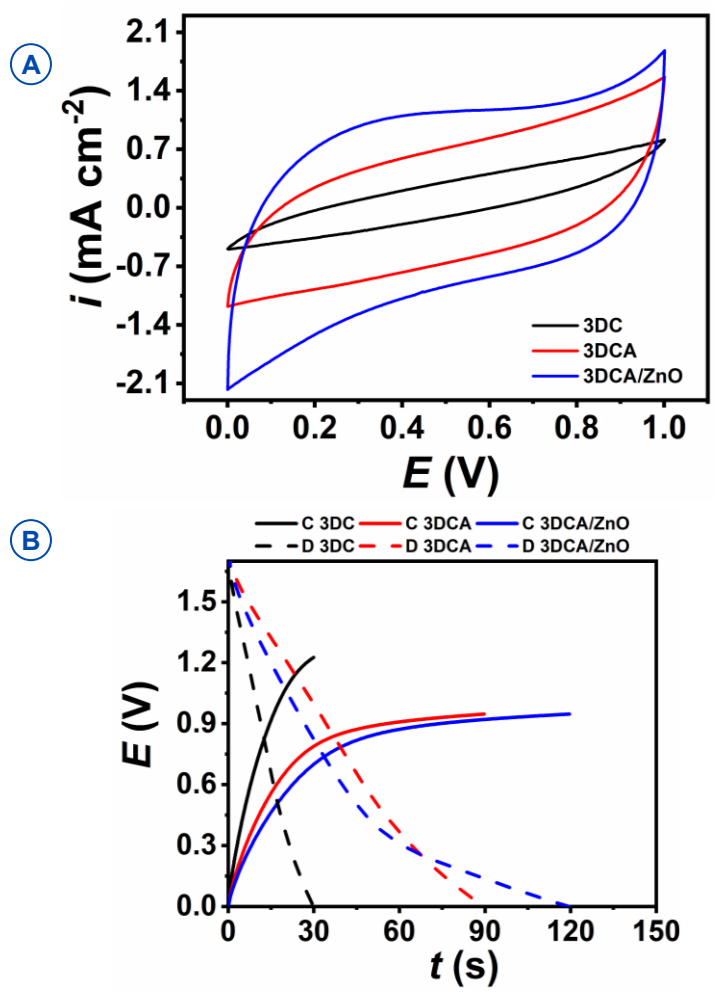


Figura 2. Em (A) voltamogramas cíclicos e em (B) carga e descarga galvanostática dos eletrodos estudados em Na_2SO_4 1 mol L^{-1} e densidade de corrente de 1 mA cm^{-2}.

Pelos voltamogramas cíclicos foi observado que o perfil é predominantemente capacitivo, mesmo após a incorporação das nanopartículas de ZnO. Pelos testes de carga e descarga confirmou maiores valores de tempo de carga e descarga para a corrente de 1 mA cm^{-2} com a adição de ZnO. A Tabela 1 indicou os valores de carga total, capacitância específica, densidade de energia e densidade de potência superiores para o compósito contendo ZnO.

Conclusões

- O eletrodo impresso é barato e de fácil moldagem e manuseio, a ativação assistida por laser possibilita a produção de carbono grafítico condutor na superfície do eletrodo, além disso o recobrimento da superfície com nanopartículas de ZnO demonstraram serem promissores para a aplicação em supercapacitores tanto simétrico quanto assimétrico.
- O eletrodo estudado apresenta-se como alternativa viável para a aplicação em supercapacitores eletroquímicos.

Referências e Agradecimentos

[1] Zavarize, T. M., Xavier, F. F. S. et al. “MICRO (Multimaterial, Integrated, Compact, Ready-to-Plug, One-Step 3D-Printed): A Simple-to-Use Electrochemical Device for On-Site Analysis and Drug Screening”. ACS OMEGA, 11, 2026, 13074-13083. DOI: 10.1021/acsomega.5c06692

[2] Fernandes-Junior, W. S. et al. “A miniaturized aditive-manufactured carbon black/PLA electrochemical sensor for pharmaceuticals detection. Talanta, 275, 2024, 126154. DOI: 10.1016/j.talanta.2024.126154

[3] Raza, A. et al. “Rice straw-derived activated carbon/ZnO nanocomposite as a high-performance electrode for asymmetric supercapacitors”. Nanoscale Adv., 8(16), 2026, 4656-4671. DOI: 10.1039/d6na00276e