

INDUÇÃO A LASER DE NANOPARTÍCULAS NA SUPERFÍCIE DA CELULOSE BACTERIANA E SUA APLICAÇÃO NO DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVOS ELETROQUÍMICOS BASEADO EM PAPEL

Karina Ribeiro de Paula
Desirée Tamara Scheidt
Laís Canniatti Brazaca

Instituto de Química de São Carlos – Universidade de São Paulo
ka.ribeirodepaula@usp.br

Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver dispositivos eletroanalíticos em papel (ePADs) utilizando celulose bacteriana (CB) como substrato. Para isso, foi empregada a técnica de grafeno induzido por laser (LIG) tanto para a formação dos caminhos condutores (eletrodos e conexões) quanto para a síntese *in situ* de nanopartículas de platina (PtNps). Pretende-se, assim, obter eletrodos com desempenho eletroquímico aprimorado, caracterizados por elevada condutividade, aliados a um processo de fabricação simples e de baixo custo.

Métodos e Procedimentos

Filmes de CB de alta gramatura foram preparados a partir das películas finas fornecidas pela BioSmart Nanotechnology, e seguindo o protocolo descrito por Scheidt [1]. O material foi fragmentado e homogeneizado em água até formar um hidrogel, posteriormente filtrado a vácuo e prensado em molde acrílico (10 cm²). Após secagem a 45 °C por 24 h, obtiveram-se filmes entre 700 e 750 g/m². Os filmes foram tratados com retardantes de chama à base de sódio: citrato de sódio (0,3 mol L⁻¹) ou tetraborato de sódio (0,15 mol L⁻¹). As amostras foram imersas nas soluções, submetidas a banho ultrassônico por 1 h e secas em estufa a 40 °C por 24 h. A gravação a laser, destinada à formação do material condutor e à síntese de PtNps, ocorreu

em duas etapas. Na primeira queima, utilizaram-se os parâmetros: 10% da potência máxima e mínima do laser, velocidade de 10 mm s⁻¹ e distância de 7 mm, sendo a potência máxima ajustada para 20% no caso dos filmes tratados com citrato de sódio. Em seguida, depositou-se 10 µL de solução aquosa de tetracloroplatinato de potássio (II) (K₂PtCl₄) (500 mmol L⁻¹) sobre o eletrodo de trabalho. Após a secagem da solução, uma segunda queima foi realizada aplicando-se 20% da potência máxima, 14% da mínima, velocidade de 10 mm s⁻¹ e distância de 9 mm.

Por fim, a área eletroquímica dos eletrodos foi delimitada com esmalte, e os contatos elétricos foram recobertos com tinta de prata. A caracterização eletroquímica foi conduzida por voltametria cíclica, utilizando a sonda redox ferri/ferrocianeto de potássio em solução de KCl 0,5 mol L⁻¹.

O material formado foi caracterizado por microscopia eletrônica de alta resolução (MEV-FEG).

Resultados

O tratamento dos filmes de CB com retardantes de chama à base de sódio é uma etapa crucial para a transformação da celulose em um material carbonáceo condutor. Esses compostos, como o tetraborato de sódio e o citrato de sódio, sofrem decomposição endotérmica, facilitando reações induzidas por laser que aumentam a formação de carbonização [2]. Conforme ilustrado nas

Figuras 1 (a) e (b), o pré-tratamento foi crucial para prevenir a degradação do BC, facilitando assim a formação do LIG, um material carbonáceo altamente poroso.

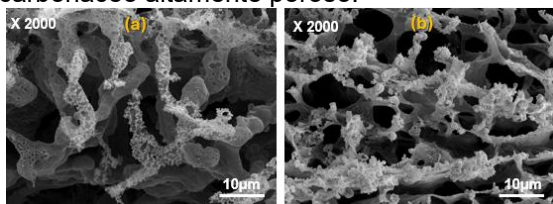


Figura 1 - Mapeamento por MEV de nanopartículas, ampliado em 2000 vezes, em filmes tratados com: (a) citrato de sódio e (b) tetraborato de sódio.

O laser, além de induzir a formação de material carbonáceo a partir do polímero, também promove a redução de sais metálicos depositados na superfície, resultando na formação de nanopartículas [3]. Essa estratégia se mostrou eficiente em nosso estudo, evidenciada pela elevada densidade de nanopartículas de platina aderidas ao material carbonáceo (Figuras 2a e 2b).

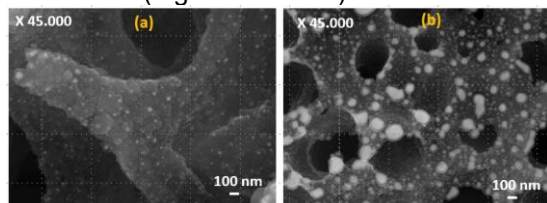


Figura 2 - Mapeamento por MEV, ampliado em 45000 vezes, em filmes tratados com: (a) tetraborato de sódio + K_2PtCl_4 e (b) citrato de sódio de sódio + K_2PtCl_4 .

A partir desses resultados foram construídos os ePADs e avaliada a resposta eletroquímica dos eletrodos modificados com PtNps em comparação aos ePADs não modificados. As Figuras 3 (a) e (b) mostram que, embora tenha sido confirmada a formação de nanopartículas na estrutura carbonácea, essa modificação não promoveu aumento no sinal eletroquímico dos dispositivos. Ainda assim, a presença de nanopartículas no eletrodo de trabalho pode favorecer a imobilização de biomoléculas, o que representa um avanço relevante para a futura aplicação dos ePADs na construção de biossensores.

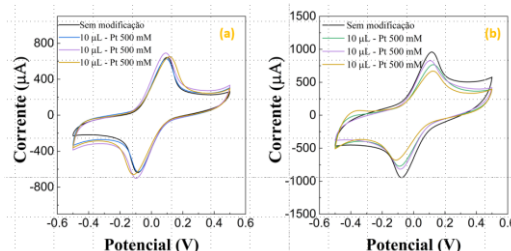


Figura 3 – Voltametria cíclica realizada nos filmes tratados com (a) tetraborato de sódio com e sem Nps de platina e (b) citrato de sódio com e sem PtNps.

Conclusões

O pré-tratamento dos filmes de CB com retardantes de chama à base de sódio foi fundamental para obter estruturas carbonáceas condutoras por laser, evitando a degradação do substrato e favorecendo a formação de LIG poroso. A redução *in situ* permitiu a incorporação de PtNps na superfície carbonácea, com destaque para o tetraborato de sódio, que resultou em partículas menores e mais distribuídas. Embora a modificação com nanopartículas não tenha ampliado a resposta eletroquímica dos ePADs, sua presença pode favorecer a imobilização de biomoléculas, abrindo caminho para biossensores mais sensíveis.

Os autores declaram que não haver conflito de interesse.

Agradecimentos

Este trabalho teve apoio da FAPESP (2023/10141-2), CNPq (409215/2022-8) e da PUB-USP.

Referências

- 1 SCHEIDT, D. T. Sensores Eletroquímicos à base de Grafeno obtidos pela Indução a Laser da Celulose Bacteriana. 129 p. Tese (Doutorado) — Instituto de Química de São Carlos - Universidade de São Paulo, 2024.
- 2 Kulyk B, et al.. Laser-induced graphene from paper for non-enzymatic uric acid electrochemical sensing in urine. **Carbon N Y**;197:253–63. 2022
- 3 SCROCCARELLO, A. et al. One-Step Laser Nanostructuring of Reduced Graphene Oxide Films Embedding Metal Nanoparticles for Sensing Applications. **Acs Sensors**, v. 8, n. 2, p. 598-609. 2023.