



Hexacianoferrato de Alumínio (AlHCF) para Eletrodos 3D: Síntese, Caracterização e Aplicação em Armazenamento de Energia

Geowana A. Lourenço (IC)^{1*}, Michele V. C. O Silva (PQ)¹, Edson Nossol (PQ)¹

¹ Institute of Chemistry, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 38400-902, Brazil

Email:geowana.lourenco@ufu.br

ABSTRACT

A busca por materiais sustentáveis e de baixo custo para armazenamento de energia é crucial. Nesse cenário, os análogos da Azul da Prússia (PBAs), como o hexacianoferrato de alumínio (AlHCF), se destacam por sua estrutura porosa, baixo custo e facilidade de inserção iônica. Aqui, desenvolvemos um material com potencial para dispositivos de armazenamento de energia. Com objetivo de contribuir com a demanda crítica, a síntese do compósito envolve material de carbono que representa uma abordagem estratégica e eficaz¹. A combinação sinérgica do carbono com os PBAs não apenas mitiga as deficiências intrínsecas desses análogos, mas também otimiza suas propriedades eletroquímicas, promovendo uma condução eletrônica aprimorada essencial para a próxima geração de eletrodos de alto desempenho³. A síntese do AlHCF foi realizada via coprecipitação controlada (proporção 2:1 nitrato de alumínio:ferrocianeto de potássio), otimizando sua estrutura para aplicações energéticas. Para superar as limitações de estabilidade e condutividade dos PBAs, o AlHCF foi incorporado com óxido de grafeno (GO) em um eletrodo impresso em 3D². A escolha do GO é estratégica, visando conferir maior condutividade eletrônica e estabilidade mecânica ao compósito. Os compósitos foram extrusados e subsequentemente impressos em 3D. O eletrodo 3D AlHCF/GO resultante foi extensivamente caracterizado por Difração de Raio X (DRX), Espectroscopia Raman, Espectroscopia de Infravermelho (FTIR) (para análise estrutural), e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) (para avaliação morfológica e da integração). A avaliação eletroquímica será incluída por meio da voltametria cíclica (VC) em diferentes eletrólitos para comprovar o aumento de estabilidade conferido pelo GO. Testes de carga e descarga galvanostáticos serão realizados para determinar a capacidade específica e densidade de corrente, parâmetros esses que são essenciais para o desempenho em armazenamento de energia. Este trabalho é relevante devido à escassez de estudos sobre a síntese de AlHCF e sua incorporação com materiais de carbono para armazenamento de energia, especialmente via impressão 3D. A combinação com óxido de grafeno confere propriedades inovadoras, posicionando este estudo em um grau de importância. A metodologia, que utiliza técnicas eletroanalíticas de alta sensibilidade, seletividade e precisão, aliada ao potencial de baixo custo e alta eficiência dos materiais, torna a pesquisa tanto economicamente atraente quanto cientificamente significativa.

Keywords: AlHCF, Eletrodo 3D, Armazenamento de energia.

Introdução

A crescente demanda por soluções de armazenamento de energia sustentáveis e de baixo custo impulsiona a pesquisa por novos materiais¹. Nesse contexto, os análogos da Azul da Prússia (PBAs), em especial o hexacianoferrato de alumínio (AlHCF), emergem como candidatos promissores². Eles se destacam por sua estrutura porosa, baixo custo de produção e facilidade de inserção iônica, características essenciais para dispositivos de armazenamento de energia eficientes². Este projeto propõe a síntese de AlHCF a partir de precursores abundantes, visando superar materiais tradicionais em viabilidade econômica e ambiental³. Apesar de ser pouco explorado na literatura, o AlHCF demonstra grande potencial para baterias de alta performance, com este estudo buscando otimizar sua condutividade e morfologia para aplicações energéticas. Embora os análogos da Azul da Prússia sejam reconhecidos como candidatos importantes para dispositivos de armazenamento de energia, suas limitações inerentes de estabilidade e condutividade

restringem seu desempenho ideal¹. Para atender a essa demanda crítica, a síntese de compósitos envolvendo materiais de carbono representa uma abordagem estratégica e eficaz. A combinação sinérgica do carbono com os PBAs não apenas mitiga as deficiências intrínsecas desses análogos, mas também otimiza suas propriedades eletroquímicas, promovendo uma condução eletrônica aprimorada essencial para a próxima geração de eletrodos de alto desempenho. Adicionalmente, para garantir a fabricação de materiais acessíveis e de baixo custo, a impressão 3D emerge como uma solução disruptiva². Esta tecnologia permite a construção de eletrodos com geometrias 3D personalizadas, o que é fundamental para maximizar a área de contato entre o eletrólito e o material ativo e otimizar o transporte iônico. Essa capacidade de design avançado aprimora significativamente a sinergia dos materiais e o desempenho final do eletrodo.

Experimental

A síntese do AlHCF foi realizada via coprecipitação controlada, seguida de lavagem com água e etanol, e secagem a 80°C por 12 horas. Posteriormente, o AlHCF sólido foi macerado com óxido de grafeno (GO) e ácido polilático (PLA) em placa de aquecimento a 160°C por 40 minutos, resultando em um compósito homogêneo. Este compósito foi então extrusado em filamento, utilizando uma temperatura de 190°C na extrusora. O design do eletrodo foi desenvolvido no software SketchUp, e a impressão 3D foi executada em uma impressora (Flash Forge 3D printer). Finalmente, os eletrodos impressos foram submetidos a testes eletroquímicos em uma célula 3D dedicada para avaliação de desempenho.

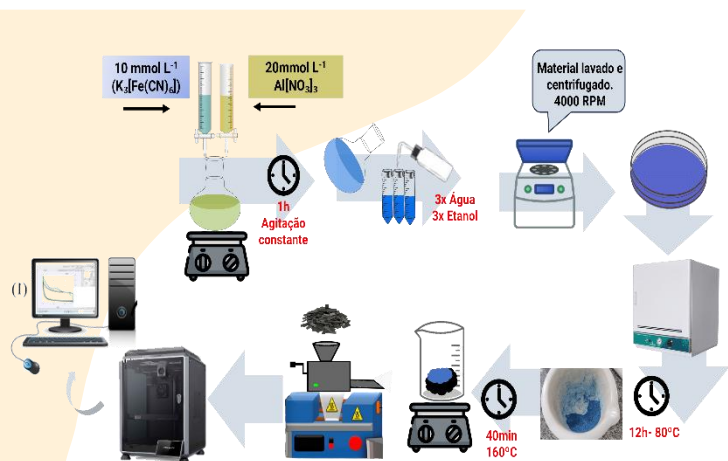


Figura 1. Esquema da metodologia. A síntese do AlHCF ocorre por coprecipitação, seguida da incorporação com óxido de grafeno (GO) e ácido polilático (PLA) para formar um compósito. Este é extrusado em filamento e utilizado na impressão 3D do eletrodo AlHCF/GO. Finalmente, o eletrodo impresso é avaliado por testes eletroquímicos.

Resultados e Discussão

A análise de difração de raios X (DRX) do hexacianoferrato de alumínio, os picos (200), (220), (400), (420), (422) confirmam uma estrutura cúbica. análise por FTIR confirmou a formação do AlHCF, evidenciando bandas de estiramento características. Observou-se um pico em 545 cm⁻¹ atribuído ao estiramento Al-O, e bandas em 2060 cm⁻¹ e 2110 cm⁻¹ correspondentes aos grupos Fe(II)-CN e Fe(III)-CN, respectivamente. A presença de um estiramento em 3182 cm⁻¹ indica a vibração de OH. As imagens de MEV confirmaram a dispersão do AlHCF.

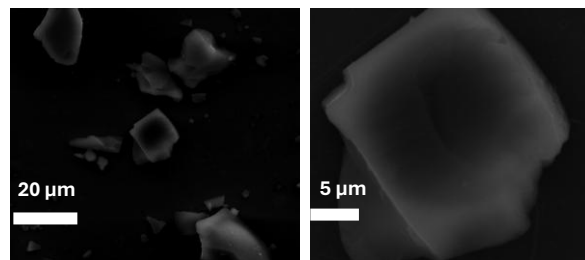


Figura 2. (a) XRD perfil, (b) FT-IR, e espectros Raman, (c) imagens do MEV do AlHCF.

Conclusão

Este trabalho confirmou a síntese bem-sucedida do Hexacianoferrato de Alumínio (AlHCF) via Co precipitação controlada e, de forma inovadora, demonstrou sua incorporação em uma matriz de óxido de grafeno (GO) para a fabricação de eletrodos 3D por meio de impressão. As análises DRX, confirmam os planos cristalinos de estrutura cúbica do AlHCF, os FTIR foram cruciais para confirmar a formação do AlHCF e a presença de seus grupos funcionais característicos, enquanto as análises de MEV evidenciaram a efetiva dispersão das partículas de AlHCF. Nossos resultados preliminares indicam que a combinação estratégica do AlHCF com o GO que podem conferir uma melhoria significativa na estabilidade e na condutividade dos eletrodos, endereçando diretamente as limitações intrínsecas dos análogos de Azul da Prússia. A relevância desta pesquisa é multifacetada: ela não apenas preenche uma lacuna na literatura sobre o AlHCF em aplicações de armazenamento de energia, mas também inova ao empregar a tecnologia de impressão 3D para criar arquiteturas de eletrodos otimizadas. Essa abordagem não só potencializa o desempenho do material, mas também contribui para a produção de dispositivos mais acessíveis e sustentáveis. Assim, o desenvolvimento de eletrodos de AlHCF/GO impressos em 3D representa um avanço promissor para a próxima geração de soluções de armazenamento de energia eficientes, de baixo custo e ecologicamente viáveis.

Agradecimentos

CNPq, CAPES, FAPEMIG, UFU.

Referencias

- [1] HWANG, J. Y.; MYUNG, S. T.; SUN, Y. K. S. Chemical Society Reviews, 46, n. 12, p. 3529–3614, 2017.
- [2] DOWN, M. P. *et al.* Advanced Energy Materials, 9, n. 11, p. 1803019, 2019.
- [3] MISHIMA, Ria *et al.* Chemistry Letters, v. 49, n. 1, p. 83–86, 2020.

