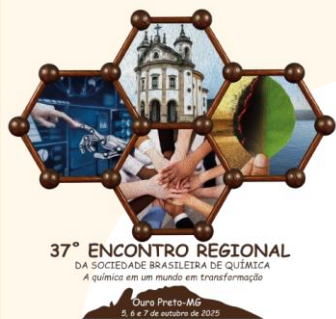




Hexacianoferrato de prata: estudo de síntese, caracterização visando aplicações em terapia fotodinâmica para tratamento antitumoral.

Hellen C. Novais de Oliveira (PG),¹ Tayana Mazin Tsubone (PQ)¹ e Edson Nossol (PQ).¹

Instituto de Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 38400-902, Brasil

* Email correspondente: hellen.oliveira@ufu.br

ABSTRACT

O câncer é uma das principais causas de mortalidade global, e as terapias convencionais apresentam limitações como alta citotoxicidade e resistência tumoral. Nesse contexto, materiais nanoestruturados, como o Azul da Prússia (AP) e seus análogos, têm atraído atenção para aplicações biomédicas inovadoras. O hexacianoferrato de prata (HCFAg), um análogo do AP, destaca-se pela incorporação de íons prata, que confere propriedades antibacterianas e potencial para terapia fotodinâmica, ao gerar espécies reativas de oxigênio. Neste trabalho, o HCFAg foi sintetizado com sucesso, confirmado por espectroscopias Raman e infravermelho, que evidenciaram as bandas características do material. A microscopia eletrônica de varredura indicou partículas com tamanho médio de ~280 nm, adequado para aplicações biomédicas. Esses resultados preliminares reforçam o potencial do HCFAg na terapia contra o câncer, oferecendo uma alternativa promissora frente a outros tratamentos.

Keywords: hexacianoferratos metálicos, terapia fotodinâmica, tratamento de câncer

Introdução

O câncer permanece como uma das principais causas de mortalidade no mundo, representando um significativo desafio para a saúde pública. As terapias convencionais, como quimioterapia e radioterapia, embora amplamente empregadas na prática clínica, apresentam limitações consideráveis, incluindo elevada citotoxicidade, que compromete tecidos saudáveis, e o desenvolvimento de resistência a múltiplos fármacos pelas células tumorais. Diante desse contexto, cresce o interesse no desenvolvimento de terapias alternativas mais eficazes e seletivas, capazes de minimizar os efeitos adversos e superar os mecanismos de resistência celular.(1)

Nesse contexto, materiais nanoestruturados têm se destacado por suas propriedades físico-químicas versáteis e potencial aplicação em terapias inovadoras. Entre eles, o Azul da Prússia (AP), ou hexacianoferrato de ferro, é um composto amplamente estudado devido à sua estrutura cúbica de face centrada, composta por centros alternados de ferro(II) e ferro(III) coordenados a ligantes cianeto. Embora tradicionalmente empregado como pigmento, o AP tem despertado crescente interesse na área biomédica, sobretudo por sua estrutura que permite a substituição dos íons ferro por outros metais de transição, originando os chamados Análogos de Azul da Prússia (AAPs).(2)

Dentre os AAPs, destaca-se o hexacianoferrato de prata (HCFAg), cuja incorporação de íons prata confere ao material propriedades distintas, incluindo notável atividade antibacteriana e potencial terapêutico.(3) Sua estrutura tem capacidade de gerar espécies reativas de oxigênio (EROs) tornam o HCFAg particularmente promissor para aplicações biomédicas, como na terapia fotodinâmica, uma abordagem que visa a destruição seletiva de células tumorais por meio da ativação de fotossensibilizadores na presença de luz e oxigênio.(4)

Experimental

Nesse presente trabalho foram sintetizados dois tipos de hexacianoferratos de prata pelo método de cooprecipitação. Inicialmente, foram preparados 10 mL de uma solução de nitrato de prata (AgNO_3) 10 mM (solução A) e 20 mL de citrato de sódio di-hidratado 5 mM (solução B). As soluções A e B foram misturadas sob agitação magnética, e, em seguida, adicionaram-se 10 mL de uma solução de ferricianeto de potássio ($\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$) 10 mM (solução C). A reação foi conduzida sob agitação constante por 3 horas, seguida de repouso em temperatura ambiente por 24 horas, permitindo a completa formação do precipitado. O sólido obtido foi separado por centrifugação, lavado com água destilada (duas vezes) e seco em estufa a 40 °C por 12 horas.

O mesmo procedimento foi repetido utilizando ferrocianeto de potássio ($\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$) na etapa C, visando à síntese do hexacianoferrato correspondente.

Resultados e discussão

A imagem obtida por microscopia eletrônica de varredura (MEV), apresentada na Figura 1, mostrou que o hexacianoferrato de prata apresentou partículas com morfologia não muito bem definida, porém com distribuição relativamente uniforme e tamanho médio de aproximadamente 280 nm.

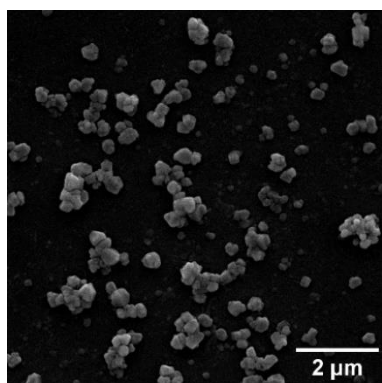


Figura 1. MEV referente ao HCFAG.

Os espectros Raman apresentado na Figura 2 revelaram bandas atribuídas ao estiramento da ligação $\nu\text{C}\equiv\text{N}$, características dos hexacianoferratos. Observou-se que ambos os espectros obtidos para o HCFAG exibiram essas bandas, porém com perfis distintos, o que pode ser atribuído aos diferentes estados de oxidação do ferro presentes nas amostras.

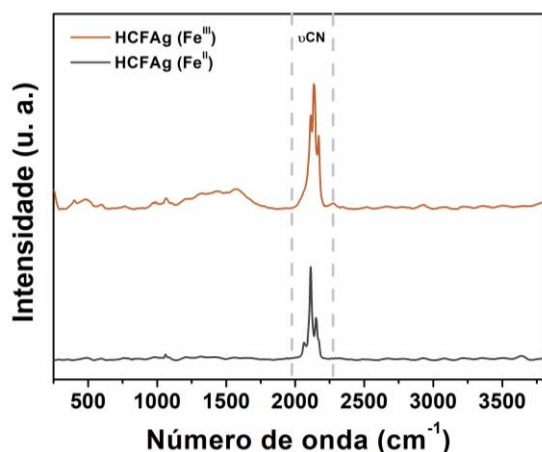


Figura 2. Espectros Raman das amostras.

Na Figura 3, os espectros de infravermelho dos materiais analisados revelaram a presença característica do grupo $\text{C}\equiv\text{N}$ em aproximadamente 2100 cm^{-1} , apresentando perfis distintos que podem ser atribuídos aos diferentes estados de oxidação do ferro presentes nas amostras. A região em torno de 3300 cm^{-1} indicou a presença de grupos hidroxila (OH), sugerindo a possível interação com moléculas de água ou hidroxilas superficiais. Além disso, a banda observada próxima a 1600 cm^{-1} foi atribuída à deformação angular da água coordenada, evidenciando a presença de moléculas de água ligadas diretamente ao centro metálico. A banda em 500 cm^{-1} corresponde à vibração metal-carbono. Por fim, o pico em 1370 cm^{-1} está relacionado ao grupo carboxilato (COO^-) proveniente do citrato de sódio utilizado durante a síntese. Esses resultados corroboram a complexidade estrutural das amostras, refletindo as interações químicas específicas entre o ferro e os ligantes presentes.

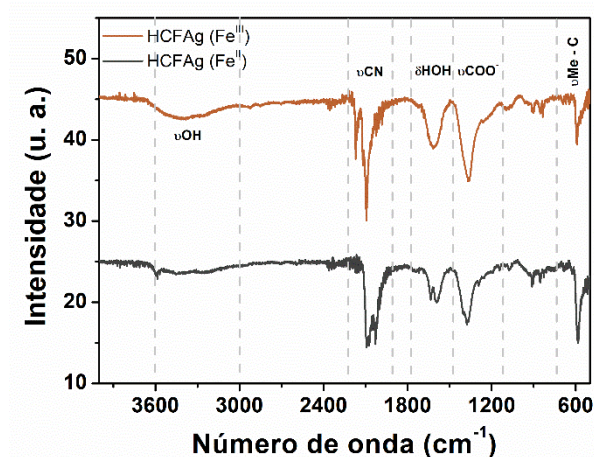


Figura 3. Espectros FTIR dos materiais estudados.

Conclusões

A síntese do HCFAG foi realizada com sucesso, conforme evidenciado pelas características observadas nas análises espectroscópicas iniciais. As bandas típicas foram identificadas nas espectroscopias Raman e da região do infravermelho, confirmando a formação do material desejado. A microscopia eletrônica de varredura revelou que as partículas apresentaram tamanho médio em torno de 280 nm , o que indica uma morfologia favorável para aplicações biomédicas. Esses resultados preliminares destacam o potencial do material sintetizado para uso em terapia fotodinâmica, dada a sua estrutura e propriedades adequadas para a geração de EROs.

Agradecimentos

FAPEMIG, CAPES, CNPq, INCT Nanocarbono, Instituto de Química – UFU, Universidade Federal de Uberlândia, INCT TeraNano.

Referências

1. Sung, H. et al., *CA Cancer J. Clin.* **2021**, 71 (3), 209–249.
2. Hao, Y. et al., *ACS Appl. Bio Mater.* **2021**, 4 (9), 7081–7093.
3. Mukherjee, S. et al., *ACS Biomater. Sci. Eng.* **2019**, 6 (1), 690–704.
4. Jia, Q.; Zhou, N., *ACS Appl. Bio Mater.* **2019**, 2, 2143–2154.