

## NOVOS MATERIAIS HÍBRIDOS DE FERRO (Fe) E COBRE (Cu): SÍNTESE, ESTUDO COLORIMÉTRICO E AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE EM HPLC

JULIANA PORCIUNCULA DA SILVA<sup>1</sup>; DANIELLE TAPIA BUENO<sup>2</sup>; AMANDA FONSECA LEITZKE<sup>2</sup>; DAISA HAKBART BONEMANN<sup>2</sup>; ROSANE LOPES CRIZEL<sup>2</sup>; CLAUDIO MARTIN PEREIRA DE PEREIRA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – [julianaporciuncula01@gmail.com](mailto:julianaporciuncula01@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – [lahbbiufpel@gmail.com](mailto:lahbbiufpel@gmail.com)

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas – [claudiochemistry@gmail.com](mailto:claudiochemistry@gmail.com)

### 1. INTRODUÇÃO

A curcumina é um polifenol natural extraído da *Curcuma longa* L., tem como destaque sua forte coloração e suas propriedades terapêuticas. No entanto, sua aplicação é limitada devido à sua instabilidade e rápida degradação (YAKUBU *et al.*, 2025). A causa dessa instabilidade é devido à presença da fração  $\beta$ -dicetona na molécula da curcumina, que é um centro hidrolítico (YAKUBU *et al.*, 2025). Este centro hidrolítico está envolvido na eliminação do radical hidroxila e em reações redox, levando à formação de produtos de degradação, ou seja, fenólicos menores (BULIGA *et al.*, 2022). Para contornar esse problema, uma estratégia é a incorporação de metais em sua estrutura, facilitada por esta mesma fração (AL-DUAIS *et al.*, 2025).

Uma estratégia de realizar a incorporação de metais em sua estrutura, é através da síntese de materiais híbridos, que são formados a partir de duas ou mais fases, podendo estas serem orgânicas ou inorgânicas (ISHIDA *et al.*, 2016). Essa interação com metais ajuda a estabilizar esta molécula (MALTAROLLO *et al.*, 2025). Nesse contexto, este estudo teve como objetivo sintetizar matérias híbridos utilizando como fases a curcumina, íons metálicos como cobre ou ferro e o polissacarídeo *kappa*-carragenana como agente redutor e estabilizante e avaliar quanto sua cor e estabilidade em solução utilizando Cromatografia Líquida de Alta Eficiência.

### 2. METODOLOGIA

Para síntese dos materiais híbridos foi utilizado 0,5 g de curcumina e adicionado 8 mL de etanol e 4 mL de água deionizada. Subsequentemente, a essa solução, foram adicionados 0,1359 g de acetato de cobre ou 0,1834 g de cloreto de ferro (III). Em seguida, 1 g de *kappa*-carragenana foi adicionada, e a mistura que reagiu por 30 minutos em temperatura ambiente. Por fim, foi realizada uma etapa de lavagem utilizando etanol e H<sub>2</sub>O e foi seco em estufa.

A cor das amostras foi determinada por um colorímetro CR-400, configurado com ângulo de observação de 10° e luz D65. Os parâmetros colorimétricos foram medidos em triplicata utilizando o sistema CIELab, que inclui L\* (luminosidade), a\* (eixo verde-vermelho) e b\* (eixo azul-amarelo), e a variação de cor foi calculada pelo valor  $\Delta E$ , de acordo com a seguinte equação:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

Onde  $\Delta E$  é a variação em todas as cores,  $\Delta L$  é a variação na luminosidade,  $\Delta a$  é a variação nas coordenadas vermelho-verde e  $\Delta b$  é a variação nas coordenadas azul-amarelo.

As análises cromatográficas foram realizadas utilizando um Thermo Scientific Ultimate 3000, modelo Waltham, EUA com detector de UV-Vis. A separação dos analitos foi realizada em uma coluna C18 (Ascentis, Bellevue, WA, EUA) com tamanho de partícula de 5  $\mu$ m, tamanho de poro de 90 Å e tamanho de coluna de 150 mm  $\times$  4,6 mm. Fase móvel acetonitrila, tetrahydrofurano e 2% de ácido acético (aquoso) na respectiva proporção 26,3:63,2:10,5 v/v em modo isocrático, à temperatura ambiente por 7 min. O volume de injeção foi de 20  $\mu$ L, a vazão foi de 1 mL/min, a detecção foi alcançada a 254 nm e as amostras foram dissolvidas em acetonitrila. A análise foi conduzida pelo tempo do programa: tempo zero (imediatamente após a diluição da amostra), após 2 h e após 24 h.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A influência dos metais na cor dos materiais híbridos pode ser observada na

**Figura 1.**

Figura 1 - (A) acetato de cobre; (B) curcumina; (C) *kappa*-carragenina; (D) cloreto de ferro; (E) curcumina/*kappa*-carragenina; (F) híbrido de cobre; (G) híbrido de ferro.

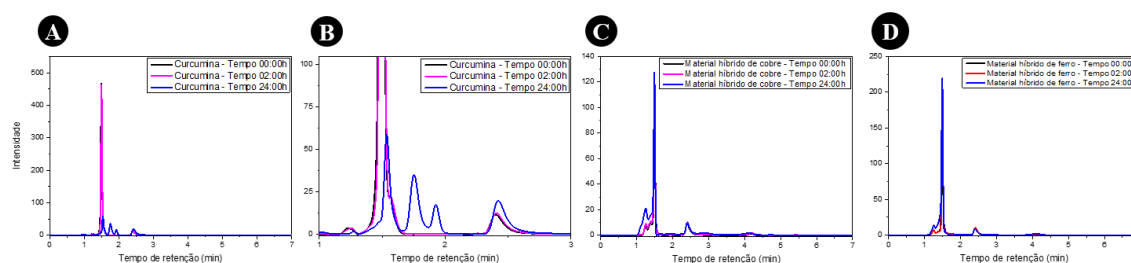


Na presença de metais (Figura 1 F,G), mudanças significativas na cor dos materiais foram claramente notadas. Os valores observados para a\* e b\* do material híbrido de cobre (a\* 9,10 e b\* 58,44) e o material híbrido de ferro (a\* 2,41 e b\* 11,98) diminuíram em comparação aos valores obtidos para a mistura curcumina *kappa*-carragenana (a\* 16,46 e b\* 82,17), sugerindo que os componentes vermelho e amarelo foram reduzidos. Entre os materiais híbridos, o híbrido de cobre apresentou os maiores valores de vermelho e amarelo, indicando

que o  $\text{Cu}^{2+}$  tem um papel mais significativo no realce da cor da curcumina *kappa*-carragenana. Além disso, os valores de  $L^*$  foram reduzidos para os materiais híbridos de cobre ( $L^*$  43,92) e ferro ( $L^*$  14,33), indicando que eles apresentaram uma coloração mais escura em comparação à curcumina *Kappa*-carragenana ( $L^*$  63,40). Assim, os resultados da colorimetria indicaram a efetiva formação de materiais híbridos, evidenciada pela mudança de cor após a adição desses metais e confirmada a presença dos mesmos através de Espectroscopia de Absorção Atômica.

A **Figura 2 A** mostra os cromatogramas da solução de curcumina em diferentes períodos de tempo, enquanto a **Figura 2 B** apresenta o cromatograma da solução de curcumina após 24 h, onde a presença de mais de um pico pode ser observada. Na **Figura 2 C e D**, os cromatogramas dos materiais híbridos de cobre e ferro, respectivamente, são mostrados. Pode-se observar que novos picos não foram detectados após 24 h.

Figura 2. (A) Cromatograma da solução de curcumina analisada em diferentes intervalos de tempo; (B) ampliação do cromatograma de curcumina no ponto de tempo de 24:00 h; (C) cromatograma da solução de material híbrido de cobre analisada em diferentes intervalos de tempo; (D) cromatograma da solução de material híbrido de ferro analisada em diferentes intervalos de tempo.



A **Figura 2 A, B** ilustra claramente a diminuição da intensidade do pico da curcumina após 24 h, bem como o aparecimento de novos picos correspondentes a produtos de degradação com tempos de retenção maiores do que os da curcumina, consistentes com as descobertas de Kumar et al. (2021).

#### 4. CONCLUSÃO

Este trabalho baseia-se no artigo científico intitulado *Application of K-Carrageenan for One-Pot Synthesis of Hybrids of Natural Curcumin with Iron and Copper: Stability Analysis and Application in Papilloscopy*, publicado na revista *Colorantes*, doi: <https://doi.org/10.3390/colorants4010003>, 2025. Nesta produção, o enfoque foi dado para os materiais híbridos sintetizados que apresentaram estabilidade em solução em até 24h, ao contrário da curcumina pura. As demais

caracterizações e a aplicação na área de papiloscopia podem ser consultadas no referido artigo.

## 5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio financeiro concedido pela UFPel, FAPERGS, CAPES e CNPq, que possibilitou a realização deste trabalho.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-DUAIS, M. A. *et al.* Correction to The anticancer activity of fucoidan coated selenium nanoparticles and curcumin nanoparticles against colorectal cancer lines. **Scientific Reports**, v. 15, n. 8759, 2025.
- BUENO, Danielle Tapia *et al.* Application of K-Carrageenan for One-Pot Synthesis of Hybrids of Natural Curcumin with Iron and Copper: Stability Analysis and Application in Papilloscopy. **Colorants**, v. 4, n. 1, p. 3, 2025.
- Buliga, D.I. *et al.* Enhancing the light fastness of natural dyes by encapsulation in silica matrix. *J. Photochem. Photobiol. A Chem.* **2022**, 432, 114085.
- CHEN, X. *et al.* The Stability, Sustained Release and Cellular Antioxidant Activity of Curcumin Nanoliposomes. **Molecules**, v. 20, n. 8, p. 14293–14311, 2015.
- DE FRANÇA, B. M. *et al.* Synthesis and photophysical properties of metal complexes of curcumin dyes: Solvatochromism, acidochromism, and photoactivity. **Dyes and Pigments**, v. 198, 2022.
- ISHIDA, H. *et al.* Guidelines for measurement of luminescence spectra and quantum yields of inorganic and organometallic compounds in solution and solid state (IUPAC Technical Report). **Pure and Applied Chemistry**, v. 88, n. 7, p. 701–711, 2016.
- KUMAR, P. *et al.* Enhanced efficacy of a Cu<sup>2+</sup> complex of curcumin against Gram-positive and Gram-negative bacteria: Attributes of complex formation. **Journal of Inorganic Biochemistry**, v. 222, 2021.
- LI, S. *et al.* Incorporation of Different Metal Ion for Tuning Color and Enhancing Antioxidant Activity of Curcumin/Palygorskite Hybrid Materials. **Frontiers in Chemistry**, v. 9, 2021.
- PRASAD, S. *et al.* Metal-Curcumin Complexes in Therapeutics: An Approach to Enhance Pharmacological Effects of Curcumin. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 13, 2021.
- SUBHAN, M. A. *et al.* Synthesis and Characterization of Metal Complexes Containing Curcumin (C<sub>21</sub>H<sub>20</sub>O<sub>6</sub>) and Study of their Anti-microbial Activities and DNA-binding Properties. **Journal of Scientific Research**, v. 6, n. 1, p. 97–109, 2014.
- T. F. H. *et al.* In vitro evaluation of antimicrobial photodynamic therapy with photosensitizers and calcium hydroxide on bond strength, chemical composition, and sealing of glass-fiber posts to root dentin. **Lasers in Medical Science**, v. 40, n. 51, 2025.
- YAKUBU, J. *et al.* Nanoparticles with curcumin and piperine modulate steroid biosynthesis in prostate cancer. **Scientific Reports**, v. 15, n. 13613, 2025.
- ZHOU, *et al.* Synthesis, optical properties and biological imaging of the rare earth complexes with curcumin and pyridine. **J. Mater. Chem.** **2012**, 22, 22774–22780.
- SHARIFI-RAD, J. *et al.* Turmeric and Its Major Compound Curcumin on Health: Bioactive Effects and Safety Profiles for Food, Pharmaceutical, Biotechnological and Medicinal Applications. **Frontiers in Pharmacology**, v. 11, 2020.