



## Dispositivo $\mu$ TAD baseado em bis-tiocarbazona para detecção e quantificação de Cobalto em água via análise de imagem digital

Ana C. M. Ramos (G),<sup>1</sup> Claudinéia R. S. Oliveira (PG),<sup>1\*</sup> Willian T. Suarez (PQ),<sup>1</sup> Matheus V. Maia (PG),<sup>1</sup> Lucas V. O. Leão (G),<sup>1</sup> Anna Luisa L. A. Sousa (PG),<sup>1</sup> Gabriel A. D. Castro (PG),<sup>1</sup> Sergio A. Fernandes (PQ),<sup>1</sup> João Paulo B. Almeida (PG),<sup>2</sup> Vagner B. Santos (PQ),<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Química, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Minas Gerais, Brasil.

<sup>2</sup> Laboratório de Instrumentação e Automação em Analítica Aplicada, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Pernambuco, Brasil.

\*email: claudineia.oliveira@ufv.br

### RESUMO

O cobalto é um elemento essencial, mas seu excesso em água, solo ou alimentos pode causar efeitos tóxicos à saúde humana. Diante disso, este trabalho apresenta uma alternativa prática, acessível e ambientalmente sustentável para a detecção de  $\text{Co}^{2+}$  em amostras aquosas, através de uma reação colorimétrica, utilizando um dispositivo microfluídico baseado em fio de algodão aliado à análise por imagem digital. O método apresentou excelente linearidade com  $R^2$  igual a 0,9950, baixos limites de detecção e quantificação, boa precisão e ensaios de recuperação entre 85 a 110%, indicando a confiabilidade e precisão do método.

**Palavras-chave:** Cobalto,  $\mu$ TAD, DIB.

### Introdução

O cobalto é um metal que exerce papel fundamental tanto em aplicações industriais quanto em processos biológicos essenciais ao organismo humano (1-4). Porém, seu excesso na água, alimento ou solo pode resultar em bioacumulação e biomagnificação, trazendo riscos à saúde humana (4-7). As concentrações de cobalto estabelecidas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) são de  $50 \mu\text{g L}^{-1}$  para águas doces de Classe I e  $200 \mu\text{g L}^{-1}$  para a Classe III (8). E a Diretriz de Saúde do Environmental Working Group (EWG) estabelece  $70 \mu\text{g L}^{-1}$  de cobalto como um limite tolerável para água potável (9). Assim, faz-se necessário o desenvolvimento de metodologias simples e baratas que ajudem no monitoramento da concentração de cobalto em diferentes amostras. Este trabalho descreve o uso de um Dispositivo Analítico Microfluídico Baseado em Fio ( $\mu$ TAD), que se destaca por ser uma alternativa sustentável e de baixo custo, que utiliza da propriedade absorvente do fio de algodão para realização do estudo (10). Além disso, os  $\mu$ TADs são ideais para integração com análise baseada em Imagem Digital (DIB), já que essa combinação permite uma análise rápida, portátil e sensível, com pequenos volumes de reagentes e com diversas aplicações (11).

### Experimental

#### Detecção de íons cobalto por $\mu$ TAD

Um fio de algodão de 5 cm foi fixado em uma fita adesiva dupla face de 6 cm. Foi delimitada a região de interesse (ROI), localizada à 3 cm da margem esquerda do fio, que foi tratada com  $0,3 \mu\text{L}$  de  $\text{B2OH}$  ( $2 \text{ g L}^{-1}$ ) e  $10 \mu\text{L}$  de CMC (1%). Na extremidade esquerda do fio, foram adicionados  $5 \mu\text{L}$  de tampão pH 8 e  $15 \mu\text{L}$  da amostra contendo íons de cobalto. Para garantir a estabilidade completa dos reagentes, foi utilizado um tempo de secagem de 10 minutos entre cada

aplicação.

#### Método DIB

Após a aplicação da amostra, a imagem do dispositivo foi capturada, dentro de uma caixa de acrílico e estireno-butadieno acrilonitrila (ABS), com dimensões de  $24 \times 24 \times 22 \text{ cm}$ , equipada com uma lâmpada de LED branca (6000 K, 5 V, 1 A). Na parte superior da caixa, há um orifício para a inserção do smartphone para a captura das imagens do  $\mu$ TAD, que posteriormente foram decompostas utilizando os dados RGB com o software Image J.

#### Interferência

Foram preparadas soluções ( $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ , e  $\text{Ag}^+$ ) em uma proporção molar de 1:1 com concentração de  $6 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ .

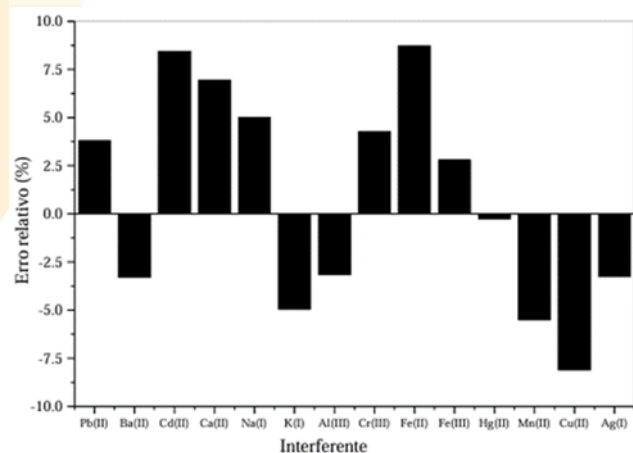
### Resultados e Discussão

#### Otimização do método

O método foi otimizado quanto ao uso do polímero carboximetilcelulose (CMC) na ROI, concentração de CMC (1 a 3%), volume de CMC (0 a  $25 \mu\text{L}$ ), concentração da molécula  $\text{B2OH}$  ( $0,5$  a  $2,0 \text{ g L}^{-1}$ ), volume de amostra ( $5$  a  $30 \mu\text{L}$ ), tempo de reação ( $5$  a  $60 \text{ min}$ ) e pH ( $3$  a  $9$ ).

#### Interferência

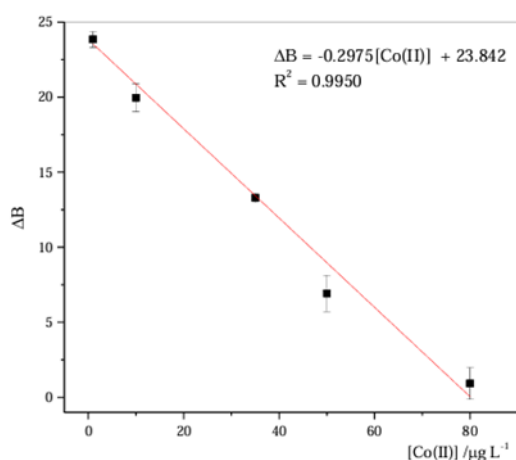
Com base na Figura 1, foram calculados os erros relativos para os íons metálicos analisados. Foi observado que todos os valores ficaram abaixo de 10%, indicando que, apesar das pequenas variações, os resultados permanecem dentro dos limites aceitáveis estabelecidos pela Associação dos Químicos Analíticos Oficiais.



**Figura 1.** Estudo dos potenciais interferentes no  $\mu$ TAD para a determinação de cobalto.

#### Linearidade

A linearidade do método foi investigada utilizando 0,3  $\mu$ L de B2OH com concentração igual a 2 g L<sup>-1</sup>, 10  $\mu$ L de CMC (1%), 5  $\mu$ L de tampão pH 8, 15  $\mu$ L de amostra e tempo de reação de 10 minutos. A equação de calibração é dada por  $\Delta B = -0,2975 [\text{Co(II)}] + 23,842$  (Figura 2), com coeficiente de determinação de 0,9950, limite de detecção (LD) de 0,30  $\mu$ g L<sup>-1</sup> e limite de quantificação (LQ) de 0,94  $\mu$ g L<sup>-1</sup>.



**Figura 2.** Curva analítica obtida para a determinação de cobalto via  $\mu$ TAD DIB.

#### Precisão e exatidão

A precisão intradia e interdia foi estudada em 3 níveis de concentração (10, 50 e 80  $\mu$ g L<sup>-1</sup>) variando de 2,21 a 3,34%. A exatidão foi estudada por ensaio de recuperação em três níveis, obtendo recuperações de 85 a 110%. O método foi avaliado usando como método de referência a Espectrometria de Absorção Atômica por Chama (FAAS) e não houve diferença significativa entre os resultados.

## Conclusões

Este estudo propôs um método prático e eficiente para detectar Co<sup>2+</sup> em amostras de água, utilizando uma abordagem microfluídica colorimétrica com fibras de algodão e análise digital por smartphone. A molécula B2OH se mostrou eficaz como sensor colorimétrico quando incorporada com CMC. Após otimizações, o método foi validado, apresentando uma curva analítica de  $\Delta B = -0,2975 [\text{Co(II)}] + 23,842$ ,  $R^2 = 0,9950$ . Estudos de seletividade e interferência mostraram impacto mínimo de outros íons metálicos que poderiam interferir na amostra. Os ensaios de precisão demonstraram constância nos resultados obtidos. Assim, o método  $\mu$ TAD DIB se mostrou confiável, preciso e eficiente para análise de determinação de Co<sup>2+</sup>, sendo também adequado para regiões com recursos limitados.

## Agradecimentos

A Universidade Federal de Viçosa, ao Programa de Pós graduação em Agroquímica, à FAPEMIG, CNPq e CAPES pelo apoio financeiro, e à CAPES (APQ-01889-21) pela bolsa concedida.

## Referências

1. F. Yuan; Y.-C. Shao; B. Wang; Y.-S. Wu; D. Zhang; Z.-J. Li; Y. Wu. *Rare Met.* **2022**, 41, 3301–3321.
2. Wang, S. *JOM* **2006**, 58, 47–50.
3. L. Yang.; Q. Zhu; K. Yang; X. Xu; J. Huang; H. Chen; H. Wang. *Nanomaterials* **2022**, 12, 4065.
4. Lison, D. *Cobalt. In Handbook on the Toxicology of Metals*; Elsevier, **2022**; pp. 221-242.
5. S. Mahey; R. Kumar; M. Sharma; V. Kumar; R. Bhardwaj. *SN Appl. Sci.* **2020**, 2, 1279.
6. A. Reis. *J. UMinho Sci.* **2024**, 3.
7. R. Danzeisen; D. L. Williams; V. Viegas; M. Dourson; S. Verberckmoes; A. Burzlaff. *Toxicol. Sci.* **2020**, 174, 311–325.
8. *Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA Nº 357*, Brasil, **2005**; 58–63.
9. F. Above. *Health Concerns for Cobalt: Guidelines*, **2025**, 14–17.
10. L. Chen; A. Ghiasvand; B. Paull. *TrAC Trends Anal. Chem.* **2023**, 161, 117001.
11. K. Pessoa; W. Suarez; M. Reis; M. Franco; R. Moreira; V. Santos. *Spectrochim. Acta - Part A Mol. Biomol. Spectrosc.* **2017**, 185, 310–3