

SENSOR DESCARTÁVEL E SUSTENTÁVEL PARA SENSORIAMENTO DE ATIVIDADE ANTIOXIDANTE EM AMOSTRAS ALIMENTÍCIAS

Pedro S. Garcia; Paulo A. R. Pereira, Nathalia O. Gomes; Sergio A. S. Machado

Instituto de Química de São Carlos - Universidade de São Paulo

pedro.santana03@usp.br

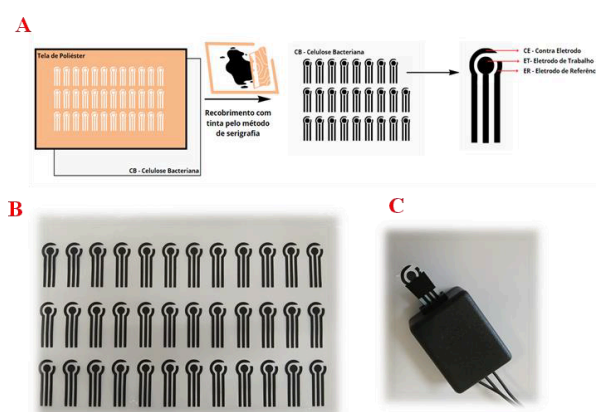
Objetivos

Este trabalho visa o desenvolvimento de um sensor eletroquímico descartável, sustentável e de baixo custo para o controle de qualidade de alimentos.^{1,2} Eletrodos foram fabricados pela técnica de serigrafia³ sobre um substrato de celulose bacteriana, um material biodegradável. O dispositivo foi avaliado para a detecção eletroquímica do antioxidante rutina, um importante vitamina em amostras alimentícias.

Métodos e Procedimentos

Para fabricar o eletrodo, foi utilizada a técnica de serigrafia na qual foi feita a transferência de uma tinta condutora de carbono para o substrato de celulose bacteriana (CB), representado pela Figura 1. Preliminarmente, os eletrodos foram submetidos a uma etapa de pré-tratamento eletroquímico para remoção de compostos não condutores e promover uma melhora no desempenho analítico do sensor. O pré tratamento eletroquímico, foi efetuado utilizando a técnica de voltametria cíclica (CV), em presença de 150 μL de ácido sulfúrico 0,5 mol L⁻¹, a partir dos seguintes parâmetros: intervalo de potencial entre -2,5 e 2,5 V, com velocidade de varredura de 100 mV s⁻¹ (dois ciclos). A detecção eletroquímica da rutina, foi efetuada utilizando a técnica de voltametria de pulso diferencial (DPV) em um intervalo de potencial entre -0,2V a 0,2V com velocidade de varredura de 5 mV.s⁻¹ utilizando tampão fosfato pH=7 como eletrólito de suporte realizando apenas a diluição de 5% de suco de uva em meio tampão, já o suco de laranja foi realizada a centrifugação e então a diluição de 2,5% de suco de laranja em meio tampão .

Figura 1: Processo de fabricação dos eletrodos impressos em A. Dispositivo produzido com o eletrodo de trabalho (ET), contra eletrodo (EA) e eletrodo de referência (ER) na Figura B. Sistema eletroquímico utilizado para fazer as medidas em C.



Fonte: Autoria própria

Resultados

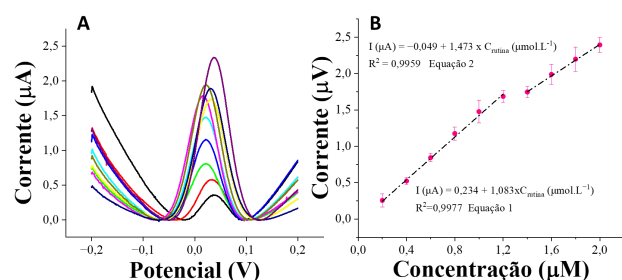
A Figura 2A apresenta os voltamogramas de pulso diferencial (DPV) obtidos em presença de soluções padrões de rutina em um intervalo de concentração entre 0,2 a 2,0 μM variando-se a cada 0,2 μM para o eletrodo fabricado na superfície da CB (SPCE-CB). Enquanto o gráfico que relaciona a corrente de oxidação (μA) com a concentração de rutina, pode ser observado Figura 2B. Os gráficos de DPV mostram que a rutina eletro oxida em um potencial de 0,025V (vs Ag/AgCl). Por meio da curva de calibração, pode-se observar que houve duas regiões que apresentaram uma dependência linear de sinal em função da concentração de rutina, a primeira entre 0,2 e 1,2 μM e a segunda entre 1,2 e 2,0 μM . Obtendo-se duas equações de reta

representadas pela Equação 1 e 2. Como foi utilizado apenas a primeira equação de reta, apenas seu limite de detecção foi calculado, encontrando um valor de $7,75 \cdot 10^{-8} \text{ mol/L}$.

$$I (\mu\text{A}) = 0,234 + 1,083 \times C_{\text{rutina}} (\mu\text{mol L}^{-1}) \quad R^2 = 0,9977 \quad \text{Equação 1}$$

$$I (\mu\text{A}) = -0,049 + 1,473 \times C_{\text{rutina}} (\mu\text{mol L}^{-1}) \quad R^2 = 0,9959 \quad \text{Equação 2}$$

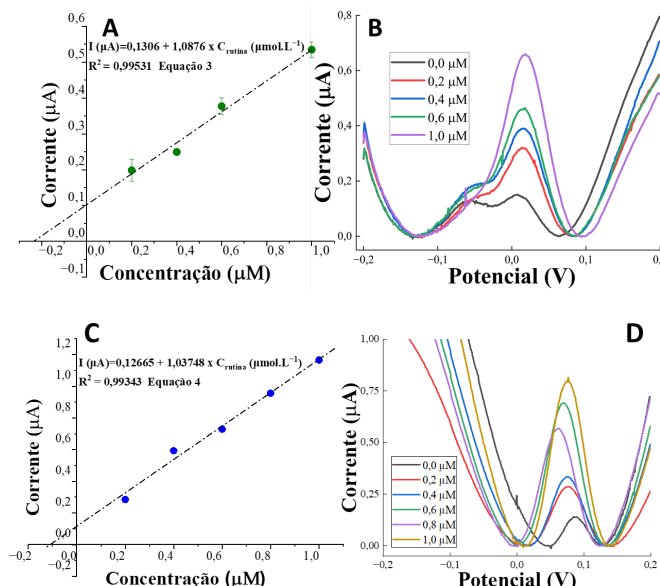
Figura 2: (A) Voltamograma de DPV de rutina no intervalo de concentração entre 0,2 e 2,0 μM . (B) Curva de calibração da rutina no SPCE-CB.



A Figura 3 apresenta os voltamogramas de pulso diferencial e as respectivas curvas de calibração obtidas para a quantificação de rutina em amostras reais de suco de uva (A e B) e suco de laranja (C e D). Observa-se que, em ambas as matrizes, os picos de oxidação da rutina mantêm-se próximos, respectivamente, ao potencial observado em soluções padrão. O uso da metodologia de adição de padrão foi fundamental para minimizar os efeitos de matriz, permitindo maior confiabilidade na quantificação.

Para o suco de uva, os voltamogramas de pulso diferencial (DPV) apresentaram uma resposta eletroquímica no potencial de oxidação próximo de 0,025 V (vs Ag/AgCl), dentro do intervalo de concentração de rutina entre 0,2 e 1,0 μM . Observou-se uma relação linear entre a corrente de oxidação e a concentração adicionada. Resultados semelhantes foram observados para o suco de laranja, embora seu pico de oxidação foi aproximadamente de 0,025 V e tenham ocorrido pequenas variações na intensidade de corrente, possivelmente associadas à presença de outros compostos antioxidantes, como vitamina C e diferentes flavonoides, que podem interferir na resposta eletroquímica.

Figura 3. Voltamogramas de pulso diferencial (DPV) e curvas de calibração obtidas pelo método de adição de padrão para determinação de rutina: (A) Curva de calibração correspondente no suco de uva; (B) DPV do suco de uva com concentrações entre 0,2 e 1,0 μM ; (C) Curva de calibração correspondente no suco de laranja; (D) DPV do suco de laranja com concentrações entre 0,2 e 1,0 μM .



Conclusões

De modo geral, os resultados demonstram a viabilidade do sensor SPCE-CB para a análise de rutina diretamente em amostras alimentícias, sem necessidade de etapas complexas de pré-tratamento. A linearidade observada nas curvas de calibração reforça a robustez do dispositivo, evidenciando seu potencial como ferramenta simples, descartável e sustentável para o controle de qualidade em bebidas de interesse comercial.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP (processos: 2025/06253-5, 134504/2024-0, 2023/08858-6, 2020/09587-8, 2018/22214-6, 2022/02164-0 e 2016/01919-6), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (processos 307070 /2022-0, 164569/2020-0, 151200/2022-0, 423952/2018-8 e 117019/2023-2).

Referências

1. Wang, J., Pedrero, M. & Sakslund, H. Electrochemical activation of screenprinted carbon strips. *Analyst* 121, 345–350 (1996).
2. Filho, O. F. & Capelato, M. D. Biossensores. *Química nova* vol. 15 28–39 Preprint at (1992).
3. Production, B. & Yeasts, B. Y. *Quim. Nova.* 31, 2091–2099 (2008).