

DISPOSITIVOS MICROFLUÍDICOS À BASE DE PAPEL PARA QUANTIFICAÇÃO DE ÁCIDO GÁLICO EM BEBIDAS

Davi G. de Araújo

Lauro A. Pradela Filho, Gilberto J. Silva Junior

Thiago R.L.C. Paixão

Instituto de Química – Universidade de São Paulo

davi21@usp.br

Objetivos

O principal objetivo é desenvolver sistemas microfluídicos baseados em papel, acoplados à amperometria para quantificação do ácido gálico (GA) em amostras de bebidas.

Materiais e métodos

O sistema eletroquímico foi produzido através do método de tratamento fototérmico a laser de CO₂ (MENDES; PRADELA-FILHO; PAIXÃO, 2022). O tratamento a laser produz trilhas de carbono condutoras, gerando arranjos de três eletrodos. O sistema resultante foi testado por voltametria cíclica em condições estáticas com uma solução padrão de 500 µmol L⁻¹ de ácido gálico. Em seguida, o sistema foi acoplado a um papel de filtro Whatman e uma tampa de PMMA (Figura 1), gerando dispositivos microfluídicos baseados em papel (µPADs). Para garantir uma montagem confiável, todo o sistema foi fechado usando grampos de pressão constante.

Os µPADs foram operados com amperometria. Soluções padrão de ácido gálico foram injetadas no µPAD usando uma micropipeta convencional. As condições experimentais dos µPADs foram otimizadas considerando o volume de injeção, o tipo de substrato de papel e o potencial de detecção. Os substratos

incluíram papéis de filtro Whatman 42 (W42), Whatman 40 (W40) e Whatman 41 (W41).

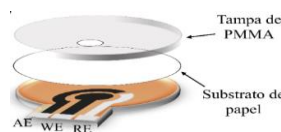


Figura 1: µPAD com detecção eletroquímica. AE = eletrodo auxiliar; WE = eletrodo de trabalho; RE = eletrodo de referência

Resultados

O sistema de três eletrodos foi inicialmente caracterizado por voltametria cíclica, fornecendo um pico voltamétrico bem definido para a oxidação do GA em condições estáticas. Em seguida, o pH da solução e o eletrólito de suporte foram otimizados, e o tampão de acetato com pH 4,5 apresentou melhores respostas analíticas devido ao pKa (~4,4) do GA. Após a caracterização eletroquímica, o sistema de três eletrodos foi acoplado a um papel de filtro W41, resultando em µPADs. A injeção de soluções de GA nos µPADs gerou um sinal em formato de pico. Além disso, o sistema resultante permitiu injeções múltiplas/sequenciais.

As condições operacionais dos µPADs foram otimizadas. O aumento do volume de injeção de 1 para 6 µL proporcionou picos mais

consistentes. No entanto, 4 μL foram selecionados para estudos subsequentes, pois esse volume oferece repetibilidade sem comprometer o número de injeções. As respostas amperométricas também foram afetadas pela mudança do substrato de papel. O substrato W41 oferece sinais maiores, provavelmente devido ao seu maior tamanho de poro (2,5 μm para W42, 8 μm para W40 e 20 μm para W41), resultando em melhor transporte de massa do analito para a superfície do eletrodo durante a injeção. O aumento do potencial aplicado de 0,2 para 1 V melhorou a resposta amperométrica, com +0,6 V proporcionando melhor intensidade de sinal e repetibilidade. Em condições otimizadas, foram realizadas 10 injeções consecutivas no mesmo dispositivo, demonstrando repetibilidade (RSD = 5,5% para I_p , $n = 14$). Em seguida, a reprodutibilidade foi avaliada comparando os sinais analíticos de três μPADs diferentes. Este estudo forneceu um RSD para valores de I_p de apenas 8% ($n = 3$), demonstrando reprodutibilidade. Posteriormente, soluções de GA com diferentes concentrações (Figura 1A) foram injetadas no μPAD . Foi observada variações de sinal para injeções da solução em branco, com os valores correspondentes subtraídos para traçar a curva de calibração (Figura 1B). De acordo com a equação $I_p (\mu\text{A}) = 0,0604C (\mu\text{mol L}^{-1}) - 0,21037$, $R^2 = 0,996$, o sistema resultante forneceu uma faixa linear de 50 a 1000 $\mu\text{mol L}^{-1}$. Portanto, esses resultados mostram que os μPADs resultantes são candidatos promissores para a quantificação de GA.

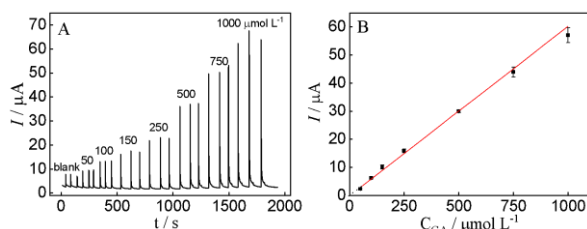


Figura 1: A) Respostas amperométricas dos μPADs para diferentes concentrações de GA. B) Curva de calibração.

Conclusões

Os μPADs são dispositivos analíticos descartáveis projetados para a quantificação rápida de GA. O sistema resultante requer apenas alguns microlitros de amostra para análise. Eles mostraram também repetibilidade de injeção e reprodutibilidade de fabricação consistentes. Além disso, os sistemas dependem de fluxo passivo, dispensando unidades de bomba externas para transportar fluidos. Essas características destacam o potencial dos μPADs como ferramentas analíticas econômicas. Portanto, a próxima etapa se concentrará na avaliação de seu desempenho analítico usando amostras reais, como chá e vinho.

Os autores declaram não haver conflito de interesses. Davi realizou a coleta e análise de dados. Lauro, Gilberto e Thiago conceberam o estudo e contribuíram para a redação e revisão final do resumo. Todos os autores aprovaram a versão final do resumo.

Agradecimentos

FAPESP (2021/00205-8), CAPES, CNPq, and the Institute of Chemistry at USP.

Referências

MENDES, L. F.; PRADELA-FILHO, L. A.; PAIXÃO, T. R. L. C. Polyimide adhesive tapes as a versatile and disposable substrate to produce CO_2 laser-induced carbon sensors for batch and microfluidic analysis. **Microchemical Journal**, v. 182, n. August, p. 107893, nov. 2022.