



Aplicação de língua optoeletrônica automatizada para discriminação de amostras alimentícias utilizando sensor óptico multicanal e indicadores de pH

Josiele A. M. Conrado (PG)^{1*}, Sidnei G. da Silva (PQ)¹, João Flávio da Silveira Petrucci (PQ)¹

¹ Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Química, Uberlândia, MG, Brasil, 38408-902.

*e-mail: josikpela@hotmail.com

RESUMO

Os sistemas multissensoriais têm registrado avanços significativos no desenvolvimento de sistemas analíticos miniaturizados. Neste estudo, foi desenvolvido um arranjo de sensores colorimétricos (ASC) em papel com o propósito de detectar e discriminar amostras alimentícias com diferentes perfis ácido-base. O arranjo foi composto por sete corantes e utilizou-se um sensor óptico multicanal AS7341 para aquisição da intensidade de cor, apresentado como alternativa ao modelo tradicional de cores RGB. A aquisição do sinal foi obtido por meio de uma plataforma analítica automatizada e operada por microcontrolador ESP32. Vários arranjos foram testados, com a combinação dos corantes azul de timol, verde de bromocresol, vermelho metila, purpura de bromocresol, vermelho fenol, azul épsilon e vermelho metila/etanol se mostrando a mais promissora. A "língua optoeletrônica" foi avaliada na discriminação de diversas amostras alimentícias, como chá de manjerição, chá verde, chá de alecrim, chá de camomila, água com gás, refrigerante de limão, cachaça, suco de lichia, vinagre de maçã, albúmen e molho su. Os dados obtidos foram analisados utilizando ferramentas quimiométricas, como análise de componentes principais (PCA) e análise hierárquica de cluster (HCA). Os resultados demonstraram que o arranjo de sensores colorimétricos possui grande potencial para distinguir eficientemente diferentes amostras alimentícias.

Palavras-chave: alimentos, quimiometria, automação, colorimetria e arranjo de sensores

Introdução

Os arranjos de sensores colorimétricos (ASC), ou narizes optoeletrônicos, foram introduzidos no início dos anos 2000¹. Esses dispositivos funcionam de modo análogo ao sistema olfativo dos mamíferos, integrando os sinais de múltiplos sensores para gerar padrões característicos de cada analito, descritos como "impressões digitais"^{2,3}. Seu princípio baseia-se nas alterações de cor resultantes da interação entre os analitos e diferentes corantes, sendo a escolha do corante e do substrato determinante para o desempenho do sistema⁴. O modelo RGB é amplamente empregado por ser o padrão da maioria dos dispositivos de captura de imagens⁵. Entretanto, sensores multicanais, como o AS7341, apresentam-se como alternativa mais robusta ao modelo RGB. Para a análise dos dados gerados, destacam-se métodos não supervisionados de reconhecimento de padrões, especialmente a Análise de Componentes Principais (PCA) e a Análise de Agrupamentos Hierárquicos (HCA). Neste estudo, avaliou-se a capacidade discriminatória de um ASC com sete corantes na diferenciação de 11 amostras de alimentos, utilizando o sensor AS7341.

Experimental

Preparo das amostras, do papel e dos reagentes colorimétricos.

Cada solução dos corantes foi feita a partir da pesagem de 10 mg em 10 mL do solvente. O substrato utilizado foi o papel de filtro (Whatman, Millipore USA) projetados no canvasWorkspace na dimensão de 90 x 90 mm e cortados na impressora de corte (ScanNCut DX 320 Brother). Em todas os experimentos foram mantidos um papel em branco como referência. A esses papéis foram impregnados 11 µL dos corantes de B20, B6, B7, B8, B22, B23 e

B7EtOH. Após a secagem obteve-se o sinal analítico denominado sinal do antes, posteriormente adicionava-se 11 µL das amostras de chá de manjerição, chá verde, chá de alecrim, chá de camomila, água com gás, refrigerante de limão, cachaça, suco de lichia, vinagre de maçã, albúmen e molho su.

Avaliação do ASC em discriminar os analitos em diferentes concentrações do hidróxido de amônio e do ácido acético.

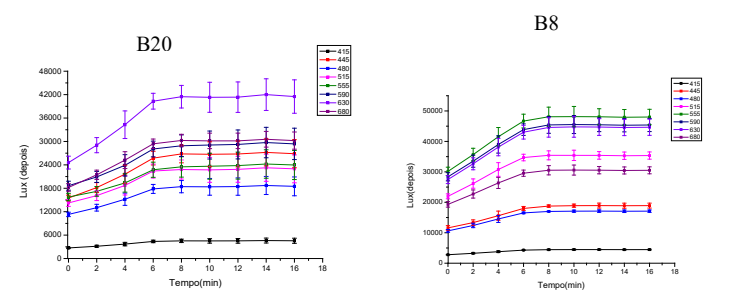
Impregnou-se 11 µL dos corantes B20, B6, B7, B8, B22, B23, nos papéis já alocados na plataforma giratória com o sensor AS7341, após 8 minutos ocorreu a leitura dos papéis. As soluções do ácido acético e do hidróxido de amônio, foram preparadas nas seguintes concentrações (0,8 - 0,41 - 0,2 - 0,1 - 0,05) mol L⁻¹, foram dispensados 11 µL, de cada solução em triplicata nos papéis, aguardou-se 8 minutos e realizou-se as leituras, sempre acompanhadas da leitura do papel em branco.

Resultados e Discussão

Inicialmente, foram selecionados os indicadores ácido-base para compor o ASC, a fim de classificar analitos ácido-base usando o sensor AS7341. Foram testadas algumas configurações de arranjos para aprimorar a resposta do sensor. Dentro desse contexto, a melhor configuração para o ASC foi com os seguintes corantes azul de timol (B20), verde de bromocresol (B6), vermelho metila (B7), purpura de bromocresol (B8), vermelho fenol (B22), azul épsilon (B23) e vermelho metila/etanol (B7EtOH.) Avaliou-se a influência do tempo de secagem do

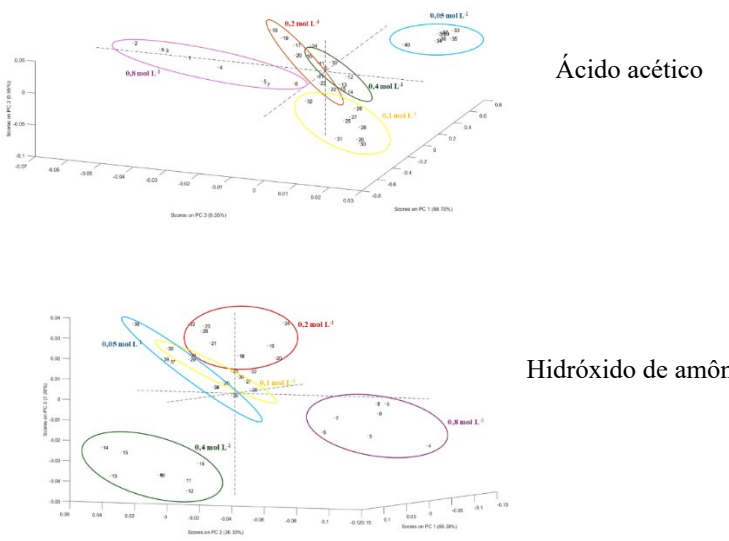
solvente sobre a resposta do Arranjo de Sensores Colorimétricos (ASC), especificamente em relação ao teor de umidade do papel. Foram impregnados 11 µL dos corantes B8 e B20 nos substratos de papel, e as primeiras leituras foram realizadas imediatamente após a impregnação, caracterizando o tempo zero. Sem remover os papéis da superfície de apoio, procederam-se leituras subsequentes em intervalos de 2 minutos, até o tempo de 16 minutos. Todos os experimentos foram conduzidos em triplicata.. De acordo com a Figura 1, após 8 minutos, a resposta total do sensor atingiu uma estabilidade e um desvio menor, indicando a que a leitura não deveria acontecer antes nem após desse período.

Figura 1. Tempo secagem do solvente B8, B20 na reação colorimétrica com o ácido cítrico.



A Figura 2 apresenta os scores plots da PCA das amostras de ácido acético e hidróxido de amônio, nas concentrações de 0,8; 0,41; 0,2; 0,1 e 0,05 mol L⁻¹. As três primeiras componentes principais (PC1, PC2 e PC3) mostraram-se estatisticamente adequadas para discriminar as amostras, explicando 100% da variância dos dados.

Figura 2. Gráfico de escores da PCA com as três primeiras componentes principais, obtido a partir dos dados do sensor AS7341 para diferentes concentrações de ácido acético e hidróxido de amônio

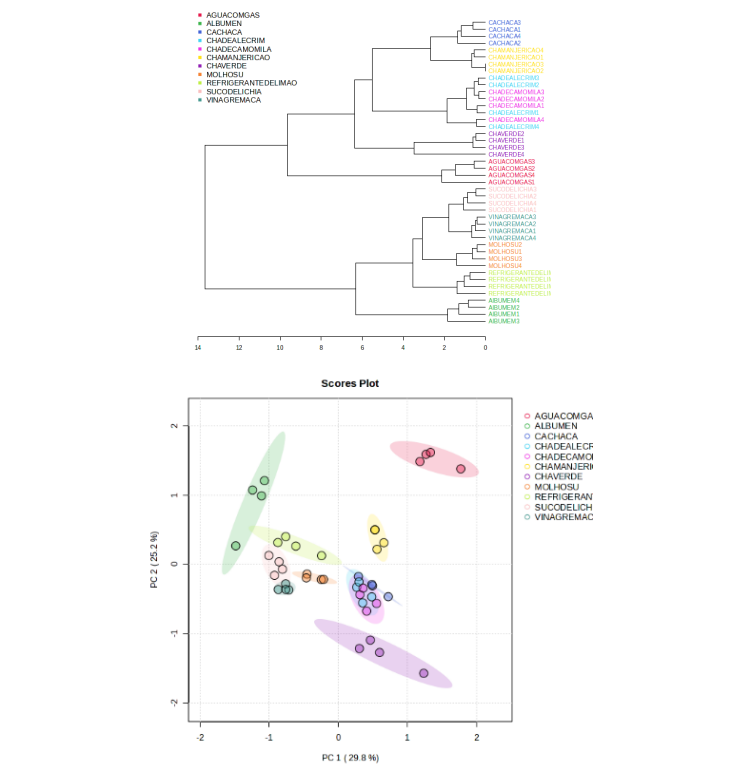


Foram aplicadas técnicas de reconhecimento de padrões não supervisionadas (PCA e HCA), associadas ao arranjo de sensores colorimétricos e ao sensor AS7341, para discriminar diferentes amostras alimentícias. As amostras de chá foram preparadas por infusão, enquanto refrigerante de limão, cachaça, suco de lichia, albumina, água aquecida, vinagre e molho *su* foram analisados sem preparo prévio.

O dendrograma da Figura 3 evidencia a separação entre as classes, com destaque para o agrupamento das amostras de chá. Apenas alecrim e camomila não foram claramente discriminados, devido à semelhança de pH e propriedades físico-químicas. A PCA confirmou a coerência dos agrupamentos, demonstrando a eficiência da metodologia para diferenciar amostras de alimentos com distintos valores de pH.

Figura 3. Dendrograma e PCA das 11 amostras alimentícias obtidos com o sensor AS7341. Observa-se o agrupamento das amostras de

chá, exceto alecrim e camomila, que não foram claramente discriminados devido à similaridade de pH.



Arranjo de sensores colorimétricos (ASC) desenvolvido neste trabalho, composto pelos corantes B20, B6, B7, B8, B22 e B23, com papel como substrato. O arranjo foi projetado para maximizar a resposta diferencial aos analitos estudados, permitindo a coleta de sinais colorimétricos precisos. A escolha dos corantes e do substrato foi baseada em testes preliminares que avaliaram a sensibilidade e a estabilidade do sensor, considerando fatores como uniformidade da deposição e absorção do solvente pelo papel.

Figura 4. Arranjo de sensores colorimétricos (ASC) com corantes B20, B6, B7, B8, B22 e B23 sobre papel.



Conclusões

A língua optoeletrônica à base de papel, de baixo custo e fácil manuseio, contendo 7 diferentes indicadores para monitorar o sinal em função do pH usando o sensor AS7341 que monitora o perfil em diferentes comprimentos de onda foi promissora, eficaz e com capacidade de distinguir todas as amostras alimentícias em função do seu pH.

Agradecimentos

CNPq, CAPES, FAPEMIG e UFU

Referências

1. Suslick, K. S.; Rakow, N. A.; Sen, A. Tetrahedron. **2004**, 60, 11133–11138.
2. Rakow, N. A.; Suslick, K. S. Nature. **2000**. 406, 2–5.
3. Janzen, M. C. et al. Analytical chemistry. **2006**, 78, 3591–600.
4. Bigdeli, A. et al. Nanoscale. **2017**, 9, n. 43, p. 16546–16563.
5. Sanacifar, A. et al. TrAC - Trends in Analytical Chemistry. **2017**, 97, 257–271