

UTILIZAÇÃO DO NARIZ ELETRÔNICO (*e-nose*) COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE RÁPIDA DE ALIMENTOS

Gustavo Nunes de Moraes¹
Juliano Gonçalves Pereira²

RESUMO

O Nariz Eletrônico é um equipamento de análise de odores empregado em diversas áreas, como em análise de alimentos e controle ambiental. Sua função consiste em mimetizar o nariz humano por meio de sensores que reagem com componentes voláteis e gases liberados de uma amostra, resultando na modificação de um circuito elétrico que é interpretada por um *software*. O seu uso na análise de alimentos é promissor devido a sua facilidade de manuseio, baixo custo e rapidez, indicando benefícios para a rotina industrial e laboratorial. Sua aplicabilidade abrange a detecção de fraudes, deterioração, contaminações e sabores/odores, viabilizando a avaliação da qualidade de diversos produtos, além de discriminar patógenos e deteriorantes de alimentos. Apesar de promissora, esta tecnologia é considerada nova, necessitando de estudos mais aprofundados para que seja amplamente utilizado na rotina de análise de alimentos. Portanto, o objetivo deste estudo é fornecer uma revisão de literatura relacionada à aplicabilidade do *e-nose* na análise de alimentos.

Palavras-chave: análise de alimentos, método alternativo, nariz eletrônico, sensores.

USE OF ELECTRONIC NOSE (*e-nose*) AS A FAST FOOD ANALYSIS TOOL

ABSTRACT

The Electronic Nose is an odor detector equipment used in several areas, as in food analysis and environmental control. It consists of mimicking the human nose, through sensors that react with volatile components and sample gases, resulting in the modification of an electrical circuit that is interpreted by a software. It has been increasingly studied for food analysis, due to its ease of handling, low cost and rapid testing, indicating benefits for the industrial and laboratory routine. Its applicability in food embraces the detection of fraud, deterioration, contamination and flavors/odors, which enables the evaluation of the quality of several products, in addition to discriminating pathogens and food spoilers. Although promising, this is a new technology, requiring further studies to be used in the routine of food analysis. Therefore, the aim of this study is to provide a review related to the application of e-nose in food analysis.

Keywords: alternative method, electronic nose, food analysis, sensors

EL USO DE NARIZ ELECTRÓNICA (*e-nose*) COMO HERRAMIENTA DE ANÁLISIS RÁPIDO DE ALIMENTOS

RESUMEN

La nariz electrónica es un equipo de análisis de olores que se utiliza en varias áreas, como el análisis de alimentos y el control ambiental. Su función es imitar la nariz humana a través de

¹ Graduando em Medicina Veterinária na FMVZ UNESP Botucatu-SP. gustavonunesdemoraes@gmail.com

² Professor da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Estadual Paulista - Júlio de Mesquita Filho, Campus de Botucatu. Correspondência: juliano.pereira@unesp.br

sensores que reaccionan con componentes voláteis y gases liberados de una muestra, dando como resultado la modificación de un circuito eléctrico que es interpretado por software. Su uso en el análisis de alimentos es prometedor debido a su facilidad de manejo, bajo costo y rapidez, lo que indica beneficios para la rutina industrial y de laboratorio. Su aplicabilidad abarca la detección de fraudes, deterioro, contaminación y sabores/olores, permitiendo la evaluación de la calidad de diversos productos, además de discriminar patógenos y deteriorantes alimentarios. Aunque prometedor, esta tecnología se consideró nueva y requirió estudios más profundos para que sea ampliamente utilizada en la rutina del análisis de alimentos. Por lo tanto, el objetivo de este estudio es proporcionar una revisión de la literatura relacionada con la aplicabilidad de la e-nose en el análisis de alimentos.

Palabras clave: análisis de alimentos, método alternativo, nariz electrónica, sensores.

INTRODUÇÃO

O nariz eletrônico (*e-nose*) é uma ferramenta de análise de compostos voláteis e gases que consiste em um arranjo de diferentes sensores e um *software* capaz de identificar moléculas odoríferas. Isso permite, portanto, o reconhecimento de diferentes odores (1). Esta técnica é considerada inovadora e de vasto alcance, variando desde análise de alimentos, saúde e meio ambiente até no campo militar e espacial (2,3).

Na área de análise de alimentos, os sensores de odores apresentam vantagens na identificação de fraudes, deterioração, contaminações químicas e biológicas, tipo de processamento e caracterização da composição de diversos produtos, uma vez que é um teste rápido, barato, de fácil execução e de elevada sensibilidade (2).

Muitos autores sugerem que o equipamento é capaz de ser empregado na rotina industrial e laboratorial, substituindo ou auxiliando métodos tradicionais. Contudo, ainda há a necessidade de estudos detalhados para verificar e validar a real precisão desta tecnologia, que demonstra ser promissora na análise de alimentos (2-4).

FUNDAMENTOS DO NARIZ ELETRÔNICO

Odores são grupos de moléculas de diferentes formas e tamanhos que, ao entrarem em contato com mais de 100 milhões de receptores na mucosa nasal, emitem sinais nervosos que são interpretados pelo córtex cerebral (5). O nariz eletrônico (NE) surgiu como uma tecnologia nova que visa reproduzir tal dinâmica, substituindo os receptores biológicos por sensores artificiais específicos, ao passo que a interpretação cerebral é substituída por *softwares* de computadores (1).

O NE é formado por três principais componentes: o sistema de aquisição da amostra, o conjunto de sensores químicos e o sistema de processamento (Figura 1). O primeiro caracteriza-se por ser um recipiente responsável pela volatilização da amostra e por individualizá-la do ambiente externo, permitindo a exposição das moléculas de odores ao segundo componente, o conjunto de sensores (1).

Os sensores são componentes não específicos às diferentes moléculas de odores, sendo dispostos em arranjos no sistema (geralmente 16 ou mais sensores distintos). Eles podem ser formados por óxidos metálicos, polímeros condutores ou metais piezoelétricos (1,6).

Tais arranjos de sensores funcionam como resistores e são acoplados a um circuito elétrico. O sistema de aquisição de amostra expõe as moléculas de odores aos sensores, que irão sofrer diferentes dilatações conforme o tamanho do complexo de moléculas odoríferas presente naquele espaço. Esta dilatação, por sua vez, irá aumentar ou diminuir a resistência do circuito

elétrico, que será interpretado pelo terceiro componente do equipamento, o sistema de processamento (1,6,7).

O sistema de processamento é um *software* capaz de converter a variação do circuito elétrico em diferentes curvas, caracterizando as amostras a partir de um gráfico, pelo fundamento da Análise de Funções Discriminatórias (DFA). Este fundamento consiste em comparar a variação da amostra com um padrão previamente conhecido e gravado no *software*. Assim, o sistema funciona de forma inteligente, uma vez que quanto mais amostras forem processadas, mais dados o *software* terá, tornando-se, portanto, mais preciso (1,8).

Existem diversas apresentações deste equipamento no mercado, sendo o arranjo de sensores o principal componente variante entre eles. Os sensores mais comuns são de óxidos metálicos, como o óxido de estanho e o óxido de zinco (2).

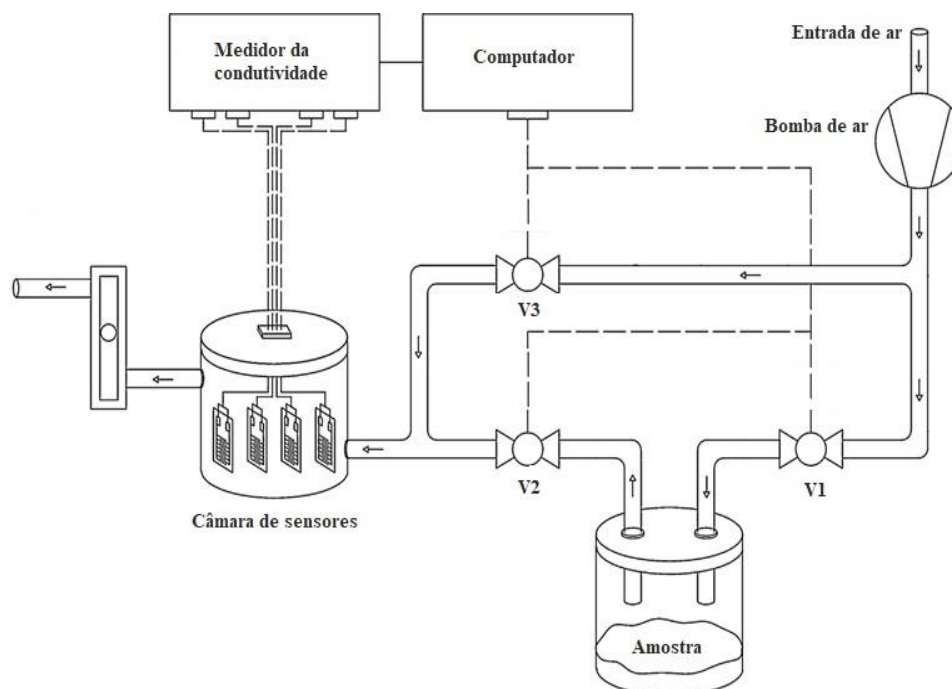


Figura 1. Diagrama esquemático do Nariz Eletrônico. Legenda: Válvula (V). Adaptado de Oliveira Netto et al. (9).

Nos sensores de polímeros condutores a resistência irá mudar devido à variação elétrica que ocorre na reação entre moléculas apolares do polímero e moléculas apolares do odor, segundo o fundamento das forças de Van der Waals. Já no caso de óxidos metálicos ocorrerá uma reação de oxidação-redução, liberando elétrons que modificam a resistência do circuito (1).

Tradicionalmente, a percepção de odores por metodologias científicas pode ser realizada a partir de dois tipos de análises: sensoriais e analíticas. A primeira é considerada lenta, cara e subjetiva, uma vez que exige profissionais treinados para identificação e diferenciação de odores. Já a segunda, caracterizada pela quantificação do odor por meio de *softwares*, pode ser realizada por Cromatografia Gasosa (CG) associada ou não a Espectrofotometria de Massa (EM), ou através do NE, que, apesar de ser considerado um método de análise vantajoso, ainda está em desenvolvimento (1).

Apesar de consagradas e já padronizadas, técnicas de CG e EM não são capazes de mensurar o caráter subjetivo do odor, não distinguindo se o odor é desagradável ou não a seres humanos, além de serem análises financeiramente dispendiosas e demasiadamente lentas (10). Portanto, os sensores de odores apresentam-se como a única técnica analítica capaz de prever o caráter subjetivo do odor (11).

Em nível industrial, como em indústria de alimentos, análises sensoriais são frequentemente empregadas por funcionários treinados para avaliar o odor de amostras, classificando-as como adequadas ou inadequadas para o consumo. Esta técnica, apesar de ser padronizada dentro das indústrias, apresenta um elevado custo e subjetividade exacerbada. Deste modo, o NE propõe ser um grande avanço tecnológico na análise de odores (12).

De acordo com De Melo Lisboa et al. (1) o nariz eletrônico funciona analogamente ao nariz humano, porém identifica e quantifica odores de forma mais eficiente, rápida e precisa quando comparado a outras técnicas, como a olfatométrie (análise sensorial) ou CG e EM.

Desta forma, o nariz eletrônico se destaca dentre as técnicas para análises de odores em alimentos, uma vez que apresenta as seguintes vantagens: rapidez, simplicidade da execução da técnica, necessidade de amostras pequenas para sua execução e elevada sensibilidade do teste (4). Wilson (13) também elucida que tal metodologia possui baixo custo e apresenta equipamentos de fácil mobilidade, comparada a métodos tradicionais.

APLICABILIDADE DO NARIZ ELETRÔNICO EM ALIMENTOS

A literatura demonstra uma vasta aplicabilidade desta técnica. De 1993 a 2015, foram publicados cerca de doze mil artigos envolvendo NE, sendo aproximadamente cinco mil relacionados à indústria de alimentos. Dos temas mais abordados na área de alimentos, destacam-se aqueles relacionados a peixes, carnes, leite, vinho, café e chás, principalmente referentes a assuntos como fraudes, deterioração/frescor, sabores desagradáveis e detecção de microrganismos, sendo este último o assunto mais atual e em constante desenvolvimento (2).

Em artigos relacionados a análises de vinhos, foi demonstrada a aplicabilidade e inovação desta tecnologia. Os sensores de odores foram capazes de reconhecer componentes, diferenciar amostras de acordo com o processo de envelhecimento e até mesmo identificar a origem da bebida, mostrando-se como uma ferramenta de grande utilidade na fabricação de vinhos (14-16).

Em chás, a análise de sensores apresentou semelhanças, uma vez que foi capaz de discernir as bebidas fabricadas sob diferentes condições, além de classificá-las de acordo com o sabor/odor, indicando benefícios na indústria (17,18).

Em indústrias de bebidas, o sabor e o odor são tradicionalmente analisados e classificados através de um grupo de profissionais qualificados para a degustação de amostras. Este método, como já abordado anteriormente, apresenta algumas desvantagens. O NE seria, portanto, um valioso objeto de estudo para auxiliar ou, talvez, substituir métodos antigos (15,18).

Ghasemi-Varnamkhasi et al. (3) elucida que os principais estudos na área de alimentos envolvendo NE são relacionados a produtos cárneos, principalmente em relação ao julgamento da qualidade e deterioração do produto.

Wang et al. (4) compararam a técnica de NE com uma metodologia bem consolidada em análises de moléculas responsáveis pelos odores, a espectrofotometria de massa por cromatografia em fase gasosa (GC-MS). Foram analisadas amostras de carne de carneiro moído fraudadas com carne de pato (comum ocorrência na China devido ao menor custo da carne da ave). O NE apresentou uma taxa de detecção mínima de 10% (porcentagem da carne adulterada na amostra) e, apesar de detectar componentes em um nível macro (maior ou igual a 10%) foi constatado uma boa correlação linear entre as técnicas, comprovando a confiabilidade do mesmo na identificação de fraudes de carnes de carneiro.

Nurjuliana et al. (19) analisaram a eficiência do NE na diferenciação de linguças e carnes *in natura* de diferentes espécies de animais (suíno, frango, bovino e ovino), no intuito de validar produtos cárneos Halal. Fraudes desses produtos são associadas à utilização de carne de suíno, discriminada pelos preceitos religiosos Halal, porém usadas como substitutas de carnes mais

caras no mercado. O estudo em questão diferenciou com sucesso as diversas carnes e linguiças, demonstrando a viabilidade desta tecnologia na autenticação Halal.

Este mesmo estudo também comparou o NE à análise de GC-MS e a outros experimentos que utilizaram Reação em Cadeia da Polimerase (PCR) na identificação de fraudes, demonstrando que o primeiro obteve resultados semelhantes às outras técnicas, com uma sensibilidade adequada para validar produtos Halal. Ademais, o NE apresentou vantagens por ser de fácil realização, utilizando apenas cinco gramas de amostra, barato e rápido, se comparado com as outras metodologias, caracterizando-o como uma ferramenta precisa na verificação de produtos Halal (19).

Um estudo marroquino comparou o método bacteriológico (padrão ouro) com a análise de odores na classificação de carnes de bovino e de ovino refrigeradas durante quinze dias, almejando diferenciá-las em dois grupos: deterioradas (fora da validade) e não deterioradas. O NE apresentou-se como um método útil na classificação da deterioração de carnes bovina e ovina com acurácia de 98,81% e 96,43%, respectivamente. Foram utilizadas amostras do varejo local, o que denota a aplicabilidade prática da tecnologia de sensores de gases (20).

Estudos envolvendo produtos cárneos obtiveram sucesso ao determinar o nível de deterioração deste tipo de alimento. A distinção entre diferentes carnes, a estimativa da contaminação bacteriana, do tempo de armazenamento e do nível de oxidação são alguns exemplos de assuntos em pesquisas que propõem o uso dessa tecnologia, a caracterizando como uma ferramenta vantajosa e em ascensão na determinação da qualidade da carne de diferentes espécies (3,21-23).

Miao et al. (24) utilizaram o NE na análise do frescor de atuns (*Thunnus albacares*) no intuito de classificá-los conforme o grau de deterioração. Tal classificação tem relevância nas indústrias de atum, uma vez que estes são destinados à venda *in natura* (comercialização em *sashimi*) ou ao cozimento (comercialização em enlatados), de acordo o nível de frescor do peixe. Os autores demonstraram que a tecnologia distinguiu de forma bem-sucedida os dois possíveis destinos do peixe, podendo ser um grande auxílio para a indústria.

Outros experimentos também utilizaram a técnica na avaliação do frescor de peixes de diferentes espécies. Os resultados obtidos sugerem precisão da análise na classificação dos peixes conforme o número de dias de refrigeração, prevendo o frescor e, conseqüentemente, a qualidade do produto. Os autores reforçam a prerrogativa de que os sensores de odores podem ser uma estratégia conveniente na avaliação do frescor de peixes (25,26).

Na análise de leite, o equipamento também apresenta aplicabilidade. Eriksson *et al.* (27), ao comparar leite de vacas com mastite clínica aguda com leite de vacas saudáveis, observaram desempenhos positivos dos sensores de análise de odores. O estudo consistiu em dois principais experimentos: comparação de leite de tetos saudáveis com tetos mastíticos de um mesmo animal, bem como entre leite de vacas doentes com vacas saudáveis. A técnica foi mais efetiva na diferenciação dos leites de tetos diferentes de um mesmo animal, e apresentou uma maior sensibilidade quando foram adicionados ao equipamento sensores de dióxido de carbono (CO₂). Esse estudo demonstra que foi possível diferenciar as amostras de leite usando um equipamento que incluía sensores de odores capazes de reagir com CO₂, provavelmente um gás eliminado em maior quantidade em inflamações da glândula mamária.

Alguns autores propõem a utilização do NE na identificação de patógenos alimentares de relevância em saúde pública. Balasubramanian e colaboradores (28) inocularam *Salmonella* Typhimurium em amostras de carnes bovinas embaladas a vácuo a fim de testar a eficiência do equipamento comercial Cyranose-320TM na detecção deste patógeno. A tecnologia seria inovadora no âmbito da análise microbiológica, uma vez que ela apresentaria rapidez, precisão, menor custo e pouca ou nenhuma etapa de preparação da amostra em comparação com o cultivo em placa. Os resultados obtidos mostraram que é possível identificar a presença de *S.* Typhimurium em concentrações bacterianas diminutas, de 0,7 a 2,6 log₁₀ Unidades Formadoras

de Colônias (UFC) / grama. Entretanto, o experimento também demonstra a necessidade de maiores estudos para implementação desta técnica na rotina de análise microbiológica de alimentos, uma vez que a precisão do NE na identificação deste patógeno foi em torno de 76%, sendo necessária uma precisão de 100% ou muito próximo disso para consolidação de uma metodologia com este fim.

Outros estudos objetivaram a diferenciação de sorotipos de *Escherichia coli*. Tal discriminação possui importância em saúde pública devido às diferentes patogenicidades de cada sorotipo. No estudo em questão, o propósito foi a distinção entre *E. coli* O157:H7 (o principal e mais grave sorotipo em intoxicações alimentares) e *E. coli* não O157:H7. O experimento utilizou a tecnologia olfativa artificial para classificar esses dois grupos através dos compostos voláteis formados por essas bactérias, que foram previamente isoladas e incubadas em laboratório. O equipamento diferenciou com sucesso os sorotipos, demonstrando aplicação no âmbito de saúde pública e análise de alimentos (29).

Um experimento desenvolvido no Brasil propôs diferenciar três espécies de bactérias de grande importância em alimentos e saúde pública. *S. Typhimurium*, *E. coli* e *Pseudomonas fluorescens* cultivadas em laboratório foram inoculadas individualmente em diferentes caldos de culturas seletivos e não seletivos comuns na rotina microbiológica. Após incubação de 24 horas, as amostras foram submetidas ao NE, que discriminou com sucesso as espécies em todos os caldos (30).

Os mesmos autores também inocularam essas cepas bacterianas em carnes bovina, suína e de frango, incubando-as por 0, 24, 48 e 72 horas. Após 48 horas foi possível detectar diferenças na liberação de gases, discriminando as espécies de microrganismo em carne bovina e suína. Já em carne de frango, o mesmo resultado foi alcançado após 72 horas de incubação (31).

Espécies de fungos deteriorantes de alimentos também podem ser detectadas pelo padrão de seus compostos voláteis. Keshri et al. (32) diferenciaram seis espécies de fungos importantes em deterioração de grãos (quatro espécies de *Eutotium*, *Penicillium spp.* e *Wallemia sebi*). Os autores incubaram as espécies previamente isoladas de grãos e pães mofados, realizando a mensuração das moléculas de odores em 24, 48 e 72 horas de incubação. Em 48 horas, considerado tempo precoce no cultivo de fungos, foi possível diferenciar com eficiência todas as espécies, com exceção de *E. amstelodami* e *E. herbariorum*, que apresentaram sobreposições no padrão de gases voláteis. Além disso, estes autores sugerem que a disponibilidade de água e a temperatura de armazenamento da amostra podem interferir na medição dos compostos voláteis.

Aplicações na área médica também foram satisfatórias. Um experimento realizado no Reino Unido utilizou a análise de odores para discernir amostras de *E. coli* e *Staphylococcus aureus* cultivadas em laboratório, além de classificá-las quanto à fase de crescimento microbiano. Esta técnica obteve um resultado satisfatório, demonstrando que o equipamento identificou corretamente 100% das amostras de *S. aureus* e 92% das amostras de *E. coli* após 12 horas de incubação. Já em relação às fases de crescimento microbiano, classificou corretamente 95,1% das amostras na fase logarítmica (Log) e 73,1% da fase estacionária, apresentando limitação apenas com relação à fase de adaptação (Lag), com sensibilidade de 14%. Esta detecção rápida do agente e da fase que o mesmo se encontra é de grande valia na rotina clínica e no âmbito de saúde pública, auxiliando no diagnóstico e tratamento de doenças, além de contribuir para pesquisas que usam tal classificação no desenvolvimento de novos antimicrobianos (33).

As pesquisas envolvendo diferenciação de microrganismos são geralmente pautadas no uso de um agente de laboratório ou de uma inoculação demonstrativa em alimento. Isto ocorre devido às limitações da técnica frente a uma situação real de um alimento contaminado no varejo ou na indústria, uma vez que há diversidade da microbiota presente nas diferentes

amostras. A identificação dos patógenos pelo NE está relacionada aos diferentes perfis de gases/compostos voláteis produzidos pelas reações metabólicas dos microrganismos, que variam conforme a espécie e o sorotipo. Este mesmo fundamento também é observado nas tradicionais análises bioquímicas utilizadas na rotina microbiológica (28,29,32,34).

Os diversos experimentos envolvendo NE evidenciam uma importante aplicabilidade da técnica no contexto de análise de alimentos, principalmente relacionadas a testes rápidos. Todavia, há limitações que tornam incerto seu uso na rotina industrial, como a deficiência de sensores mais seletivos - que identificariam os compostos com maior precisão - e a necessidade de uma calibração baseada em dados prévios que o sistema requer para uma ampla base comparativa. Além disso, a técnica também pode ser prejudicada com influências do meio externo, como presença de outros gases, degradação dos sensores com o tempo e interferência dos resultados conforme a temperatura e a umidade do ar. Acredita-se que tal ferramenta seja interessante na área de alimentos, mas ainda há a necessidade de melhorias para haver uma total confiabilidade desta técnica (2,3).

OUTRAS APLICAÇÕES DO NARIZ ELETRÔNICO

Dentre as aplicações do NE, destaca-se a detecção de gases tóxicos, poluentes e odores desagradáveis no ar e em recursos hídricos, o auxílio em diagnóstico de doenças e a identificação de compostos tóxicos na área da exploração espacial (7,13,35).

Como forma de controle ambiental, a detecção de poluentes é a área mais estudada. O monitoramento de qualidade do ar, a detecção de incêndios e vazamentos de gases tóxicos ou inflamáveis de indústrias e a detecção de monóxido ou dióxido de carbono em ambientes fechados são alguns exemplos do emprego desta técnica (13).

A qualidade da água também pode ser mensurada pela detecção de componentes voláteis na atmosfera logo acima do curso de água ou através da identificação de metais e semi-metais, como cádmio, chumbo, zinco e arsênio. Esgotos residenciais ou industriais com poluentes, orgânicos ou inorgânicos, liberam gases voláteis que também podem ser percebidos pelo NE mesmo a longas distâncias (13).

Outros exemplos de aplicação consistem na detecção de toxinas microbianas, micotoxinas e agentes nocivos em baixas concentrações usadas em guerras químicas (13).

CONCLUSÃO

Tendo em vista as vantagens que o NE apresenta na análise de alimentos, como rapidez, facilidade de execução, baixo custo, alta sensibilidade e versatilidade frente a diversas amostras, acredita-se que este seja uma tecnologia inovadora e de grande utilidade. Seu emprego em detecção de fraudes, deterioração, contaminação, composição e sabor/odor permite a mensuração da qualidade dos alimentos e bebidas, sendo de grande auxílio em indústrias e laboratórios. Além disso, sua utilidade também contempla a área de saúde pública, identificando e, conseqüentemente, monitorando patógenos que podem ser veiculados por alimentos.

Apesar das suas vantagens, há a necessidade de estudos aprofundados que comprovem a utilização do EN como substituto ou coadjuvante de técnicas já padronizadas. Ainda assim, fica claro que tal metodologia tem capacidade de proporcionar um grande aprimoramento na garantia da qualidade e inocuidade de alimentos de diversas origens.

REFERÊNCIAS

1. de Melo Lisboa H, Page T, Guy C. Gestão de odores: fundamentos do nariz eletrônico. Eng Sanit Ambient. 2009;14(1):9-18.
2. Loutfi A, Coradeschi S, Mani GK, Shankar P, Rayappan JBB. Electronic noses for food quality: a review. J Food Eng. 2015;144:103-11.
3. Ghasemi-Varnamkhasti M, Mohtasebi SS, Siadat M, Balasubramanian S. Meat quality assessment by electronic nose (Machine Olfaction Technology). Sensors. 2009;9(8):6058-83.
4. Wang Q, Li L, Ding W, Zhang D, Wang J, Reed K, et al. Adulterant identification in mutton by electronic nose and gas chromatography-mass spectrometer. Food Control. 2019;98(2018):431-8.
5. Firestein S. How the olfactory system makes sense of scents. Nature. 2001;413(6852):211-8.
6. NASA Science. Electronic Nose: NASA researchers are developing an exquisitely sensitive artificial nose for space exploration [Internet]. Washington: NASA; 2004 [cited 2020 Jun 6]. Available from: https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2004/06oct_enose
7. NASA Science. An introduction to JPL's Electronic Nose [Internet]. Washington: NASA [cited 2020 Jun 6]. Available from: <https://enose.jpl.nasa.gov/>
8. Schaller E, Bosset JO, Escher F. "Electronic noses" and their application to food. LWT Food Sci Technol. 1998;31(4):305-16.
9. Oliveira Netto MM, Gonçalves WB, Li RWC, Gruber J. Biopolymer based ionogels as active layers in low-cost gas sensors for electronic noses. Sens Actuators B Chem. 2020;315:128025.
10. Di Francesco F, Lazzerini B, Marcelloni F, Pioggia G. An electronic nose for odour annoyance assessment. Atmos Environ. 2001;35(7):1225-34.
11. Gostelow P, Parsons SA, Stuetz RM. Odour measurements for sewage treatment works. Water Res. 2001;35(3):579-97.
12. Sohn JH, Smith RJ, Yoong E. Process studies of odour emissions from effluent ponds using machine-based odour measurement. Atmos Environ. 2006;40(7):1230-41.
13. Wilson AD. Review of electronic-nose technologies and algorithms to detect hazardous chemicals in the environment. Procedia Technol. 2012;1:453-63.
14. Arroyo T, Lozano J, Cabellos JM, Gil-Diaz M, Santos JP, Horrillo C. Evaluation of wine aromatic compounds by a sensory human panel and an electronic nose. J Agric Food Chem. 2009;57(24):11543-9.

15. Prieto N, Rodriguez-Méndez ML, Leardi R, Oliveri P, Hernando-Esquisabel D, Iñiguez-Crespo M, et al. Application of multi-way analysis to UV-visible spectroscopy, gas chromatography and electronic nose data for wine ageing evaluation. *Anal Chim Acta*. 2012;719:43-51.
16. Berna AZ, Trowell S, Clifford D, Cynkar W, Cozzolino D. Geographical origin of Sauvignon Blanc wines predicted by mass spectrometry and metal oxide based electronic nose. *Anal Chim Acta*. 2009;648(2):146-52.
17. Dutta R, Hines EL, Gardner JW, Kashwan KR, Bhuyan M. Tea quality prediction using a tin oxide-based electronic nose: an artificial intelligence approach. *Sens Actuators B Chem*. 2003;94(2):228-37.
18. Bhattacharyya N, Bandyopadhyay R, Bhuyan M, Tudu B, Ghosh D, Jana A. Electronic nose for black tea classification and correlation of measurements with “Tea taster” marks. *IEEE Trans Instrum Meas*. 2008;57(7):1313-21.
19. Nurjuliana M, Che Man YB, Mat Hashim D, Mohamed AKS. Rapid identification of pork for halal authentication using the electronic nose and gas chromatography mass spectrometer with headspace analyzer. *Meat Sci*. 2011;88(4):638-44.
20. El Barbri N, Llobet E, El Bari N, Correig X, Bouchikhi B. Electronic nose based on metal oxide semiconductor sensors as an alternative technique for the spoilage classification of red meat. *Sensors (Basel)*. 2008;8(1):142-56.
21. Winquist F, Hornsten EG, Sundgren H, Lundstrom I. Performance of an electronic nose for quality estimation of ground meat. *Meas Sci Technol*. 1993;4(12):1493-500.
22. Yano Y, Yokoyama K, Tamiya E, Karube I. Direct evaluation of meat spoilage and the progress of aging using biosensors. *Anal Chim Acta*. 1996;320(2-3):269-76.
23. Olsen E, Vogt G, Ekeberg D, Sandbakk M, Pettersen J, Nilsson A. Analysis of the early stages of lipid oxidation in freeze-stored pork back fat and mechanically recovered poultry meat. *J Agric Food Chem*. 2005;53(2):338-48.
24. Miao H, Liu Q, Bao H, Wang X, Miao S. Effects of different freshness on the quality of cooked tuna steak. *Innov Food Sci Emerg Technol*. 2017;44:67-73.
25. Gholamhosseini H, Luo D, Liu H, Xu G. Intelligent processing of E-nose information for fish freshness assessment. In: *Proceedings of 3rd International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks Information*; 2007; Melbourne. Melbourne: ISSNIP; 2007. p.173-7.
26. Gholam Hosseini H, Luo D, Xu G, Liu H, Benjamin D. Intelligent fish freshness assessment. *J Sens*. 2008;2008:1-8.
27. Eriksson Å, Waller KP, Svennersten-Sjaunja K, Haugen JE, Lundby F, Lind O. Detection of mastitic milk using a gas-sensor array system (electronic nose). *Int Dairy J*. 2005;15(12):1193-201.

28. Balasubramanian S, Panigrahi S, Logue CM, Marchello M, Sherwood JS. Identification of Salmonella-inoculated beef using a portable electronic nose system. *J Rapid Methods Autom Microbiol.* 2005;13(2):71-95.
29. Younts S, Alocilja EC, Osburn WN, Marquie S, Grooms DL. Differentiation of Escherichia coli 0157:H7 from non-0157:H7 E. coli serotypes using a gas sensor-based, computer-controlled detection system. *Trans ASAE.* 2002;45(5):1681-5.
30. Pereira JG, Gonçalves WB, Teixeira WSR, Sampaio ANCE, Mioni M R, Martins AO, et al. Fast detection of foodborne pathogens: an interdisciplinary approach. In: *Anais do 30o Congresso Brasileiro de Microbiologia; 2019; Maceió. Maceió: SBM; 2019.*
31. Pereira JG, Gonçalves WB, Teixeira WSR, Sampaio ANCE, Mioni MR, Martins AO, et al. Electronic nose based on ionogel doped with Fe₃O₄ particles applied for discrimination of spoilage and pathogenic microorganisms in raw meats. In: *Anais do 30o Congresso Brasileiro de Microbiologia; 2019; Maceió. Maceió: SBM; 2019.*
32. Keshri G, Magan N, Voysey P. Use of an electronic nose for the early detection and differentiation between spoilage fungi. *Lett Appl Microbiol.* 1998;27(5):261-4.
33. Gardner JW, Craven M, Dow C, Hines EL. The prediction of bacteria type and culture growth phase by an electronic nose with a multi-layer perceptron network. *Meas Sci Technol.* 1998;9(1):120-7.
34. Elliott-Martin RJ, Mottram TT, Gardner JW, Hobbs PJ, Bartlett PN. Preliminary investigation of breath sampling as a monitor of health in dairy cattle. *J Agric Eng Res.* 1997;67(4):267-75.
35. Medelius PJ. Nano sensors for gas detection in space and ground support applications. In: *Proceedings of CANEUS 2006: MNT for Aerospace Applications; 2006; Toulouse. Toulouse: ASME; 2006. p.1-5.*

Recebido em: 05/11/2020

Aceito em: 01/12/2020