

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE LEITURA DE DADOS E CONVERSÃO DE SINAL PARA UM NARIZ ELETRÔNICO

Development of a data reading and signal conversion system for an electronic nose

Thiago Lazzari¹; Adriana Marcia Graboski²; Adilson Luis Stankiewicz¹;
Juliana Steffens²; Clarice Steffens².

¹Engenharia Elétrica, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, URI Erechim.

²Engenharia de Alimentos, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, URI Erechim.

Data do recebimento: 10/04/2017 - Data do aceite: 30/06/2017

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um sistema eletrônico para coleta e armazenamento de dados de sensores de gases de um nariz eletrônico utilizado na detecção de aromas alimentícios. O sistema eletrônico foi projetado na plataforma Arduino (Uno R3), utilizando linguagem C/C++ para a programação. Para o desenvolvimento físico do protótipo, utilizou-se uma matriz de contato e três chaves de contato instantâneo que possibilitam a seleção de comandos. Os sensores de gases foram acoplados em um suporte desenvolvido no tamanho da câmara de gás e resistente à manipulação. Este suporte com o circuito possibilitou a leitura de 5 sensores simultaneamente no protótipo. O funcionamento do protótipo foi avaliado por uma sequência de leituras com resistores de 10 k Ω (simulando os sensores de gases) para a obtenção de dados. A variação da resistência dos valores obtidos entre os resistores foi mínima, demonstrando, assim, que o sistema possuía um erro mínimo. Foi possível utilizar os sensores de gases para detecção dos aromas onde verificou-se respostas distintas para cada um dos voláteis estudados, demonstrando que o protótipo construído apresentou ótimos resultados.

Palavras-chave: Microcontrolador. Placa de Circuito Impresso. Protótipo. Aromas.

ABSTRACT: The aim of this work was to develop an electronic system for collection and storage of gas sensor data from an electronic nose used to detect food flavorings. The electronic system was designed on Arduino platform (Uno

R3) using the C/C++ programming language. For the physical development of the prototype a contact matrix and three instantaneous contact keys that allow the selection of the commands were used. The gas sensors were attached to a holder developed in the size of a gas chamber and resistant to handling. This support with the circuit enabled the reading of 5 sensors simultaneously on the prototype. The prototype operation was evaluated by a sequence of readings with 10 k Ω resistors (simulating the gas sensors) to obtain data. The variation of the resistance of the values obtained between the resistors was minimal, thus demonstrating that the system presented low error. It was possible to use gas sensors to detect the aromas where different responses were verified for each studied volatile, demonstrating that the prototype which was built showed excellent results.

Keywords: Microcontroller. Printed circuit board. Prototype. Aromas.

Introdução

O nariz eletrônico pode ser definido como um instrumento constituído por um arranjo de sensores empregado na detecção de vapores e gases. (WANG et al., 2010; PIOGGIA, 2007; TIGGEMMAN et al., 2016). A detecção pode ser realizada de forma automática para a classificação de odores, vapores e gases. O arranjo, geralmente, é composto por um sistema de sensores químicos, seguido por um sistema eletrônico associado à inteligência artificial, para reconhecimento dos voláteis. (PIOGGIA, 2007). Este dispositivo pode ser usado para monitorar a segurança, qualidade ou processo, com respostas instantâneas que poderiam levar dias para serem apresentadas por outros procedimentos, tais como a olfatométrie. (WANG et al., 2010).

Os narizes eletrônicos são responsáveis pela geração de um conjunto de sinais em resposta à exposição a um odor. Estes sinais são condicionados para permitir a otimização da conversão analógico-digital. Uma vez que estes dados estejam armazenados serão analisados computacionalmente para

determinar os parâmetros mensurados pelo nariz eletrônico. (DEISINGH et al., 2004). Para conversão dos sinais são utilizados microcontroladores compostos com um módulo central (sistema automatizado de dados), tendo sido projetado para ter todas as funcionalidades de controle em um único invólucro. Deste modo, não existe a necessidade de outros componentes externos nestas aplicações, uma vez que todos os periféricos necessários já estão contidos no microcontrolador, reduzindo tempo e espaço na construção dos dispositivos. (PALMIERI, 2009).

Um microcontrolador composto por uma pequena placa contendo um plugue com conexão USB (*Universal Serial Bus*) é o Arduino, que permite a ligação com um computador. Além disso, contém diversos outros terminais que permitem a conexão com dispositivos externos. Os Arduinos podem ser energizados por um computador através do plugue USB, por uma bateria de 9 V ou por uma fonte de alimentação. Eles podem ser controlados diretamente pelo computador, ou então podem ser programados e, em seguida, desconectados, permitindo, assim, que trabalhem independentemente da máquina. (MONK et al., 2013).

Os sensores de gases são dispositivos capazes de transduzir alterações químicas ou interações em sinais mensuráveis. Os sensores que apresentam como material sensível os polímeros condutores merecem uma atenção especial para os projetos de estudos, envolvendo o Nariz Eletrônico, pois apresentam propriedades químicas que mudam a resistência quando expostas aos vapores ou gases. Quando o filme polimérico é exposto a uma mudança na atmosfera, ele absorve ou expande, implicando em uma mudança da resistência. (RYAN, 2014). Os filmes poliméricos em arranjo dos sensores possuem uma resistência inicial (sua linha de base).

Muitos protótipos foram construídos e testados com diferentes tipos de sensores químicos. Na indústria de chá, sensores de semicondutor de óxido de metal foram utilizados para a medição de odor e sabor em amostras de chá, melhorando a estimativa de sua qualidade. (BANERJEE et al., 2012). Santonico (2008) realizou um estudo de caso sobre a aplicação de um conjunto de sensores de microbalança de quartzo na avaliação das propriedades de sabor de sobremesas de creme com aroma artificial de morango. Torri et al., (2010) investigaram a aplicabilidade de um nariz eletrônico (sensores de óxido de metal) comercial no monitoramento do frescor de abacaxi minimamente processado durante o armazenamento a diferentes temperaturas. Zhu et al., (2004) investigaram o uso de sensores de óxido de metal para distinguir qualitativamente entre seis aromatizantes artificiais (framboesa, frutas vermelhas, morango, abacaxi, laranja e cereja). Embora existam muitos resultados da aplicação de nariz eletrônico na análise do odor dos alimentos, estudos dedicados à discriminação de amostras com aromas artificiais ainda são muito limitados e os protótipos desenvolvidos utilizam tecnologias sofisticadas e caras, como por exemplo,

equipamentos complexos totalmente dedicados e programas de computador também projetados para esse fim. (SNOPOK; KRUGLENKO, 2002; PILETSKY; TURNER, 2002). Dessa forma, métodos que reduzem o custo de produção e apresentam um processo simples e barato para o desenvolvimento de sensores são de particular interesse.

Neste contexto, este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um sistema eletrônico, utilizando um microcontrolador Arduino para coleta e armazenamento de dados de um nariz eletrônico utilizado na detecção de aromas artificiais alimentícios.

Material e Métodos

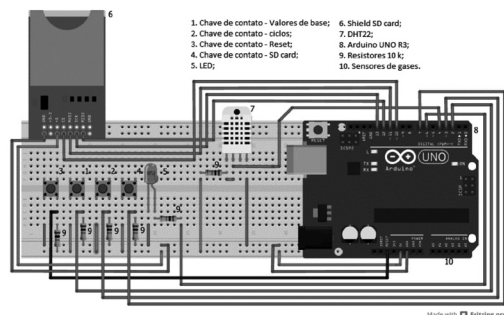
Desenvolvimento do sistema eletrônico

O sistema eletrônico foi desenvolvido com a plataforma Arduino Uno R3 (ATmega328) por ser um dispositivo barato e fácil de programar. O dispositivo apresenta 14 pinos de entrada/saída digital, 6 entradas analógicas, um cristal oscilador de 16MHz, uma conexão USB e um botão de reset.

O Arduino 1.6.5 foi o *software* utilizado para realizar a programação do *E-nose*, sendo o mesmo escrito na linguagem C. A Figura 1 demonstra a plataforma Arduino Uno R3 e todos os seus periféricos integrados na placa.

O protótipo do nariz eletrônico foi estruturado em uma *protoboard* com oitocentos e quarenta furos de contato (ISP-SHUIYUHPU), um módulo para coleta de dados dos sensores de gás, quatro chaves de contato, um módulo de cartão SD para armazenamento de dados, um sensor DHT22 para o monitoramento temperatura e umidade relativa, seis resistores de 10 k Ω , um led vermelho e *jumpers* para as conexões. A Figura 1 demonstra o protótipo desenvolvido no *software* Fritzing.

Figura 1 - Protótipo do Nariz Eletrônico com *protoboard* e microcontrolador Arduino.



Como observado na Figura 1, as legendas na parte superior identificam a posição e a numeração de cada componente. As chaves de contato 1, 2 e 4, utilizam resistores *push-down* com valores de 10 k Ω conectados ao terra. A chave de contato 3 utiliza um resistor *pull-up* de 10 k Ω conectado aos 5 V. A utilização desses resistores é para garantir um nível lógico inicial das portas digitais fixo, pois com a ausência deles, os valores podem ficar “flutuando”, ou seja, variam indefinidamente entre o nível lógico alto ou nível lógico baixo, podendo ser representado respectivamente por 0 e 1. O modelo *push-down* garante um nível lógico baixo e o modelo *pull-up* garante um nível lógico alto.

A chave de contato 1 foi responsável por iniciar a primeira leitura de dados dos sensores de gases e do DHT22, coletando todos os valores de base (dados na ausência de aroma). A porta digital associada à chave de contato 1 e ao DHT22, é a porta digital 2 e 4, respectivamente. Quando a chave de contato é pressionada, o seu valor é interpretado pela função *digitalRead*, passando do nível lógico baixo para o nível lógico alto. Uma vez lido e armazenado o valor da chave de contato 1, a porta serial recebe os dados, habilitando a leitura inicial do processo e assumindo estes valores de resistência dos sensores como sendo o valor de base. Os dados do DHT22 também foram armazenados e apresentados no *Serial Monitor*, que é uma janela para vi-

sualização no *software* do Arduino. A chave de contato 2 estava associada à porta digital 3, sendo o seu funcionamento idêntico ao da chave de contato 1, entretanto sua função foi diferente. Quando pressionada, dava início ao ciclo de coleta de dados, onde realizava-se quinze contagens com um intervalo de tempo entre elas de um minuto. Como a leitura da programação seguiu uma sequência linear, a interrupção para o período de tempo faz uso da função *delay*. O *delay*, localizado dentro da função *for*, foi utilizado para realizar a contagem de cada ciclo. Os valores coletados foram os resultados de resistência dos sensores de gases expostos aos aromas e os valores de umidade relativa e temperatura interna da câmara de gás. Para o caso de não haver sensor presente no momento da coleta de dados, uma mensagem aparecia no *Serial Monitor* informando “sem sensor”. Quando isso ocorria, a programação aguarda um novo comando, podendo ser pressionado qualquer chave de contato para dar sequência na programação. O número de ciclos foi determinado na programação e eles não podiam ser interrompidos por nenhum outro comando, exceto quando pressionado a chave de contato 3, que servia como uma medida de segurança do sistema.

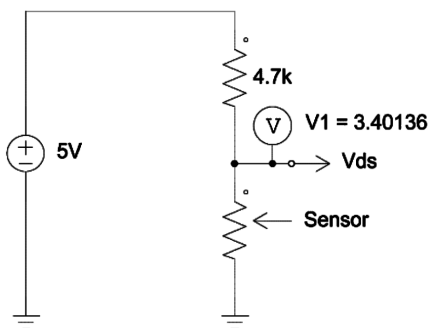
A chave de contato 3, além de agir como uma medida de segurança, também foi responsável pelo *Reset*, interrompendo qualquer processo que estava ocorrendo, reiniciando toda a programação.

O módulo de cartão SD utilizava um cartão de memória de 4 Gb para a armazenagem de dados e localizado nas portas digitais 10, 11, 12 e 13, na conexão em 5 V e uma no terra do circuito. A chave de contato número 4 foi responsável pelo sistema de segurança, para que não ocorresse a corrupção dos arquivos armazenados, chamados de *arquivo.txt*, e ela estava conectada na porta digital 6. Entretanto, quando pressionada, um led vermelho conectado na porta digital

6 foi acessado para facilitar a identificação que a chave de contato foi pressionada e que o cartão SD podia ser retirado. Nesse ponto, a programação entrava em um laço de repetição infinito, impossibilitando a sequência da programação. No *Serial Monitor* uma mensagem informava “Por favor, remova o cartão SD” e no arquivo.txt “Cartão SD removido”. Ao inserir o cartão SD novamente, pressionava-se a chave de contato 4, apagando o led e permitindo que a programação saísse do laço de repetição infinito, aguardando um novo comando. Uma mensagem aparecia tanto no *Serial Monitor* como no arquivo.txt informando “Cartão SD conectado”.

Para a leitura da resposta dos sensores em resistências, utilizou-se um divisor de tensão utilizando-se um resistor entre a alimentação de tensão V e resistência do sensor de gás. Após a leitura dos dados, converteu-se o valor analógico para um número digital no conversor A/D (Analógico/Digital) do Arduino com uma resolução de 10 bits. O valor máximo de 5 V foi digitalizado para 1023. Esses valores compreendidos entre 0 e 1023, possuíam uma resolução de 4,88758 mV para uma tensão de alimentação de 5 V. A Figura 2 apresenta o circuito padrão utilizado para determinar a resistência do sensor de gás. Utilizando-se uma resistência de referência com o valor de 10 kΩ para a resistividade do sensor de gás, verificou-se que a tensão de saída foi igual a 3,40136 V, através do divisor de tensão.

Figura 2 - Circuito padrão de divisor de tensão.



Para a digitalização da entrada de tensão de 3,40136 V, obteve-se um valor absoluto de 695,918367348. Na programação, o valor digitalizado foi armazenado na variável , para a porta analógica , para a porta analógica e assim sucessivamente. Com o valor armazenado, multiplicou-se o mesmo por uma constante de valor 14,3695014663, obtida da divisão da resistência de 10 kΩ, adotada para os sensores de gases, pelo valor absoluto de 695,918367348, referida ao máximo valor de tensão de entrada, representada pela Equação 1.

$$R_{sensor} = R_s \cdot 14,3695014663 \quad (1)$$

Onde R_s é o valor da resistência do sensor de gás medida em ohms (Ω).

Para a coleta dos dados da umidade e da temperatura, utilizando o sensor DHT22 utilizou-se uma nova programação através do comando `#include "DHT.h"`, sendo os coletados na porta digital 4. Para calibrar o sensor DHT22, utilizou-se um termohigrômetro (Sensorion) com precisão de 0,01%, onde foram coletados os dados durante cinco dias com intervalos de 15 min entre cada medida. Como as medidas apresentaram um comportamento linear, a correção dos valores foi obtida através do *Método dos Mínimos Quadrados*, com a finalidade de minimizar o erro quadrático médio das medidas e determinar o coeficiente angular e o coeficiente linear da equação da reta. (PIACENTINI et al., 2005).

Sensores de Gases

Os eletrodos interdigitados a base de grafite foram desenvolvidos pela técnica de formação de trilhas, sobre substrato de papel vegetal, onde foi depositada uma camada sensora de polianilina, por meio da técnica de polimerização *in-situ*, segundo metodologia

descrita por Venâncio et al., (2008) e Steffens et al., (2012) Os sensores de gases obtidos foram armazenados a temperatura ambiente em dessecador a vácuo.

Para avaliar a resposta dos sensores de gases, os aromas sintéticos comerciais (morango e uva - Duas Rodas Industrial Ltda). Os sensores foram introduzidos na câmara de gás (2,5 L) para manter um ambiente controlado a 20°C e 50% de umidade relativa. A avaliação da resistência dos sensores foi realizada por meio do sistema eletrônico desenvolvido, sendo adquiridos os valores a cada minuto durante 15 min. Para obtenção da linha de base foi realizada a medida dos valores em um ambiente isento de aromas. Em seguida, os aromas foram inseridos na câmara de medida, para a aquisição dos valores de resistência por 15 min. Após este ciclo, os experimentos foram repetidos várias vezes. A Figura 3 apresenta o protótipo do conjunto de sensores acoplado na câmara de gás, aonde são realizadas as coletas e tratamento de dados obtidos pelo Nariz Eletrônico.

Figura 3 - Vista do protótipo do sistema de Nariz Eletrônico constituído pela câmara de gás, arranjo de sensores, microcontrolador e computador



Resultados e Discussão

As Figuras 4 e 5 demonstram as medidas de umidade relativa e temperatura das leituras em triplicata, respectivamente, sendo os valores ajustados utilizando um termohigrômetro.

Após realizado a correção dos valores da umidade relativa e temperatura, as equações

Figura 4 - Valores de umidade relativa do sensor DHT22, ajustada pelo Método dos Mínimos Quadrados.

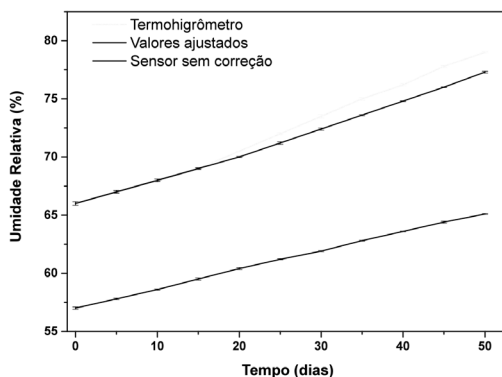
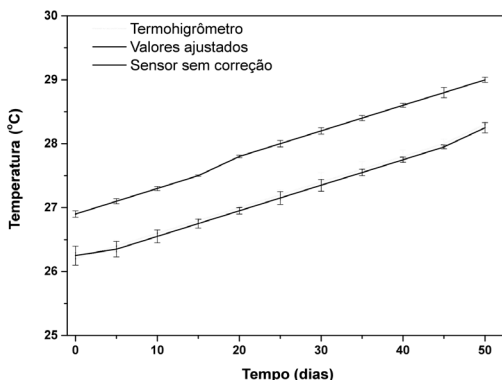


Figura 5 - Valores de temperatura do sensor DHT22, ajustada pelo Método dos Mínimos Quadrados.



das mesmas foram geradas, representadas, respectivamente, pelas Equações 2 e 3. Em seguida, as equações foram inseridas na programação no *software* do Arduino, permitindo uma coleta de dados mais precisa e confiável.

$$U = 1.15824498109947 \cdot x - 0.183375920262733 \quad (2)$$

$$T = 1.01189014588272 \cdot x - 0.752720833803323 \quad (3)$$

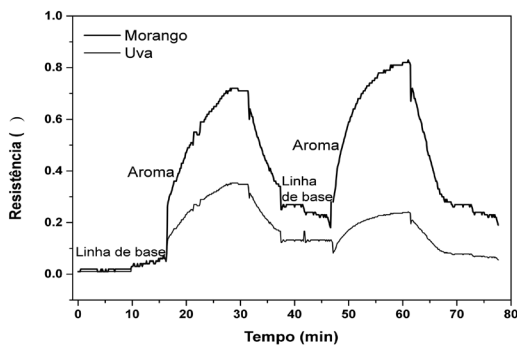
Onde: U é a umidade relativa e T a temperatura.

Respostas dos Sensores de Gases

A resposta dos sensores de gases aos aromas de uva e morango foram obtidas no

sistema eletrônico desenvolvido, as quais estão apresentadas na Figura 6. Essas respostas de resistência foram obtidas online em função do tempo de exposição.

Figura 6 - Resposta dos sensores de gases com filme de polianilina expostos aos aromas comerciais de morango e uva.



Na Figura 6 verifica-se que os sensores de gases apresentaram respostas distintas aos aromas artificiais de morango e uva, sendo observado um aumento no valor da resistência com a exposição ao aroma. Quando o aroma foi removido da câmara, a resistência dos sensores retornou à linha de base, indicando que os sensores foram reversíveis.

Comparando com o trabalho de Steffens et al., (2009), também utilizando filmes finos de Pani no estado de oxidação esmeraldina como camada ativa, verificaram uma grande reversibilidade na detecção de nitrogênio. Dessa forma, o sistema eletrônico desenvolvido, no presente estudo, demonstrou uma boa eficiência.

Neste sentido, utilizando nariz eletrônico (sistema eletrônico desenvolvido), baseado em sensores de gases com filme de polianilina conseguiu detectar diferentes aromas sintéticos.

Conclusão

Foi possível desenvolver um sistema eletrônico utilizando um microcontrolador Arduino para coletar e armazenar os dados obtidos dos sensores de gases expostos aos aromas artificiais. Junto a este sistema, também, foi possível obter os dados de temperatura e umidade da câmara do nariz eletrônico, utilizando um sensor DHT22. Desta forma, este sistema demonstrou ter forte potencial de aplicabilidade na indústria alimentícia e de resposta rápida.

REFERÊNCIAS

- BANERJEE, R.; TUDU, B.; SHAW, L.; JANA, A.; BHATTACHARYYA, N.; BANDYOPADHYAY, R. Instrumental testing of tea by combining the responses of electronic nose and tongue. **Journal of Food Engineering**, v. 110, p. 356–363, 2012.
- DEISINGH, A. K.; STONE, D. C.; THOMPSON, M. Applications of electronic noses and tongues in food analysis. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 39, p.567-577, 2004.
- MONK, T.H.; BUYSSE, D.J.; BILLY, B.D.; FLETCHER, M.E.; KENNEDY, K.S.; BEGLEY, A.E.; SCHLARB, J.E.; BEACH, S.R. Shiftworkers report worse sleep than day workers, even in retirement. **Journal of Sleep Research**, v. 22, n. 2, p.201–208, 2013.
- PALMIERI, M. A. **Desenvolvimento de sistema automatizado de baixo custo para coleta e armazenamento de dados de variáveis climáticas**, 2009. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciência – Física do Ambiente Agrícola) – USP Piracicaba, São Paulo, SP, 2009.

- PIACENTINI, J. J.; GRANDI, B. C. S.; HOFMANN, M. P.; DE LIMA, F. R. R.; ZIMMERMANN, E. **Introdução ao Laboratório de Física**. Florianópolis/SC: UFSC, 2005.
- PILETSKY, S.A.; CHIANELLA, I.; LOTIERZO, M.; TOTHILL, I.E.; CHEN, B.N.; KARIM, K.; TURNER, A.P.F. Rational Design of a Polymer for Microcystin-LR Using a Computational Approach. **Analytical Chemistry**, v.74, p.1288-1293, 2002.
- PIOGGIA, G. **The electronic nose**. Eletronic book. Disponível em: <www.piaggio.cci.unipi.it/~pioggia/electronicnose/electronicnose.html.> Acesso em: 19 nov. 2014.
- RYAN, M.A. **Electronic nose project**. Jet Propulsion Laboratory. Disponível em: <www.nasatech.com/NEWS/ntb.nov00_ryan.html> Acesso em: 11 dez. 2014.
- SANTONICO, M.; PITTIA, P.; PENNAZZA, G.; MARTINELLI, E.; BERNABEI, M.; PAOLESSE, R.; DI NATALE, C. Study of the aroma of artificially flavoured custards by chemical sensor array fingerprinting. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 133, n.1, 345–351, 2008.
- SNOPOK, B. A.; KRUGLENKO, I.V. Multisensor Systems for Chemical Analysis: State-of-the-Art in Electronic Nose Technology and New Trends in Machine Olfaction. **Thin Solid Films**, v. 418, p. 21-41, 2002.
- STEFFENS, C.; MANZOLI, A.; FRANCHESCHI, E.; CORAZZA, M. L.; CORAZZA, F. C.; OLIVEIRA, J. V.; HERRMANN, P.S.P. Low-cost sensors developed on paper by line patterning with graphite and polyaniline coating with supercritical CO₂. **Synthetic Metals**, v. 159, p.2329-2332, 2009.
- STEFFENS C., CORAZZA M. L., FRANCESCHI E., CASTILHOS F., HERRMANN P. S. P., OLIVEIRA, J. V. Development of gas sensors coatings by polyaniline using pressurized fluid. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 171-172, p.627–633, 2012.
- TIGGEMANN L., BALLEEN S., BOCALON C., GRABOSKI A.M., MANZOLI A., HERRMANN P.S.P, STEFFENS J., VALDUGA E., STEFFENS, C. Low-cost gas sensors with polyaniline film for aroma detection. **Journal of Food Engineering**, v. 180, p.16-21, 2016.
- TORRI, L.; SINELLI, N.; LIMBO, S. Shelf life evaluation of fresh-cut pineapple by using an electronic nose. **Postharvest Biology and Technology**, v. 56, n.3, p. 239–245, 2010.
- VENANCIO, E. C.; MATTOSO, L. H. C.; HERRMANN JÚNIOR, P. S. D. P.; MACDIARMID, A. G. Line patterning of graphite and the fabrication of cheap, inexpensive, “throw-away” sensors. **Sensors and Actuators, B: Chemical**, v. 130, n. 2, p.723–729, 2008.
- WANG, B.; XU, S.; SUN, D.W. Application of the electronic nose to the identification of different milk flavorings. **Food Research International**, v. 43, n.1, p.255–262, 2010.
- ZHU L.; SEBURG R. A.; TSAI E.; PUECH S.; MIFSUD J.C. Flavor analysis in a pharmaceutical oral solution formulation using an electronic-nose. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, v. 34, n.3, p. 453–461, 2004.