



## Protótipo de baixo custo para avaliação de maturação de frutas com NIR (infravermelho próximo)

### Low-cost prototype for fruit ripeness assessment using NIR (Near-Infrared)

Ezequiel Novak<sup>1</sup>, Sergio Luiz Stevan Junior<sup>2</sup>

#### RESUMO

A espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) é uma técnica promissora de análise de qualidade, podendo ser aplicada na análise de qualidade de alimentos e maturação de frutas e vegetais em geral. Esta técnica vem sendo uma possível alternativa de baixo custo a análises químico-físicas de laboratório que costumam ser caras e destrutivas. O presente trabalho tem por finalidade descrever a construção de um protótipo de baixo custo que busca permitir análises espectroscópicas, detalhando os componentes utilizados e o processo de desenvolvimento e fabricação, além de mostrar alguns resultados iniciais obtidos com a aplicação do protótipo, junto da metodologia de coleta de dados utilizada.

**PALAVRAS-CHAVE:** baixo custo; espectroscopia; infravermelho próximo; maturação.

#### ABSTRACT

Near-infrared spectroscopy (NIR) is a promising technique for quality analysis, capable of being applied to the assessment of food quality and the ripening of fruits and vegetables in general. This technique has been considered a potential low-cost alternative to traditional laboratory-based chemical and physical analyses, which are often expensive and destructive. The present study aims to describe the construction of a low-cost prototype designed to enable spectroscopic analyses. It provides detailed information about the components used and the development and manufacturing process. Additionally, it presents some initial results obtained with the prototype, along with the data collection methodology employed.

**KEYWORDS:** low cost; spectroscopy; near-infrared; ripening.

#### INTRODUÇÃO

A espectroscopia do infravermelho próximo (NIR) vem se tornando uma técnica analítica para a avaliação de qualidade de alimentos notavelmente promissora, principalmente por ser rápida, requerendo preparação mínima de amostras, de baixo custo, não destrutiva, e ecologicamente correta (POREP, KAMMERER, CARLE, 2015).

Esta técnica de espectroscopia de absorção, consiste na irradiação dentro das frequências do NIR (780 nm a 2500 nm) sobre uma amostra e no registro das frequências transmitidas, absorvidas ou refletidas. O espalhamento e absorção da irradiação depende da composição química e da microestrutura da amostra. (NICOLAÏ et al., 2007). Como os alimentos possuem uma complexa combinação de compostos químicos, duas mostras em condições distintas não terão a mesma assinatura espectral dentro da faixa de frequências visível e do NIR, por isso para que esta técnica seja eficaz é necessário o uso de algoritmos e técnicas estatísticas refinadas para a análise de dados (BEGHI et al., 2017). Equipamentos de espectroscopia NIR são caros, com preços na faixa de milhares de reais, como por exemplo o TIDA-00554 (Texas Instruments) custando na faixa dos 25 mil reais. O uso de dispositivos com algumas poucas frequências são uma opção para análises de

<sup>1</sup> Bolsista da Fundação Araucária. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, PR, Brasil. E-mail: enovak@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 8813141322842922.

<sup>2</sup> Docente no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, PR, Brasil. E-mail: sstevanjr@utfpr.edu.br. ID Lattes: 1661935150054196.

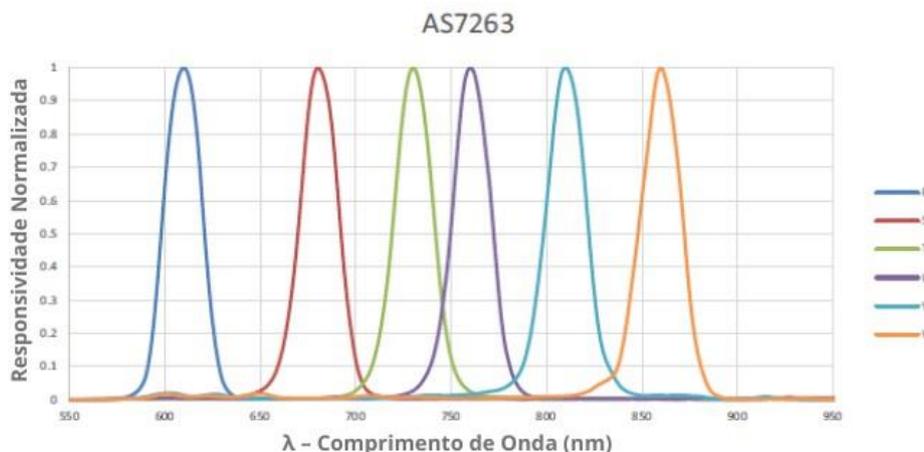
baixo custo, e sua viabilidade é o tema de análise proposto neste trabalho, juntamente com o processo de desenvolvimento e resultados iniciais.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Partindo do objetivo de desenvolver um dispositivo que conseguisse capturar a resposta de absorção dos objetos ao espectro NIR, foram analisadas as opções de sensores comerciais que fossem capazes de medir tais respostas em diferentes frequências. Comercialmente, existem diversos sensores que captam a intensidade da luz em grandes faixas de comprimentos de onda, porém estes costumam ser de alto custo. Dentre as opções de baixo custo, foi escolhido o sensor de espectro AS7263 (AMS, Áustria), custando cerca de 150 reais. A escolha foi feita com base nos comprimentos de onda que o sensor capta que estão entre o final do espectro visível e o infravermelho próximo, na compatibilidade com microcontroladores via protocolo I2C, e na utilização do mesmo sensor em aplicações semelhantes, como na análise de maturação de uvas (PAMPURI et al., 2021) e bananas (SRIPAURYA et al., 2020), e na análise de qualidade de leite (DESHPANDE; DESHPANDE; DHANDE, 2021). As principais limitações desse sensor são registrar a resposta apenas em comprimentos de onda específicos e obter a leitura espectral de um único ponto por vez do objeto alvo.

O módulo digital AS7263 conta com 6 canais baseados em fotodiodos cobrindo os seguintes comprimentos de onda: 610 nm, 680 nm, 730 nm, 760 nm, 810 nm e 860 nm, nomeados com as letras R, S, T, U, V e W, respectivamente. Cada um deles com resolução de 16 bits via conversor analógico-digital próprio e exatidão de comprimento de onda de  $\pm 5$  nm. Cada canal conta com um filtro gaussiano de largura à meia altura (FWHM) de 20 nm. Além disso o módulo eletrônico conta com um LED emissor branco programável para a iluminação dos objetos a serem analisados.

Figura 1 – Responsividade espectral normalizada do AS7263

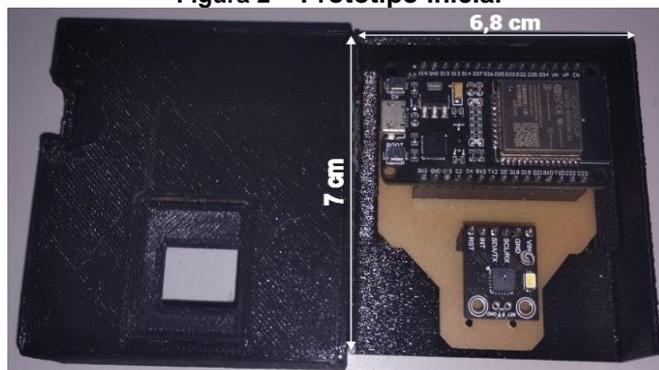


Fonte: AMS (2016).

A partir da responsividade de cada canal é possível determinar o grau de presença de determinadas substâncias, e no caso das frutas, correlacionar com o grau de maturação. Para controlar o sensor e enviar os dados ao computador, foi utilizado um microcontrolador ESP32. Para evitar a interferência de luz externa e manter a mesma distância fixa da

superfície do objeto alvo à abertura do sensor, um invólucro foi fabricado para conter o conjunto, juntamente uma placa de circuito impresso foi produzida para manter a boa fixação do conjunto e evitar problemas de mal contato elétrico. O Protótipo inicial está ilustrado na Figura 2:

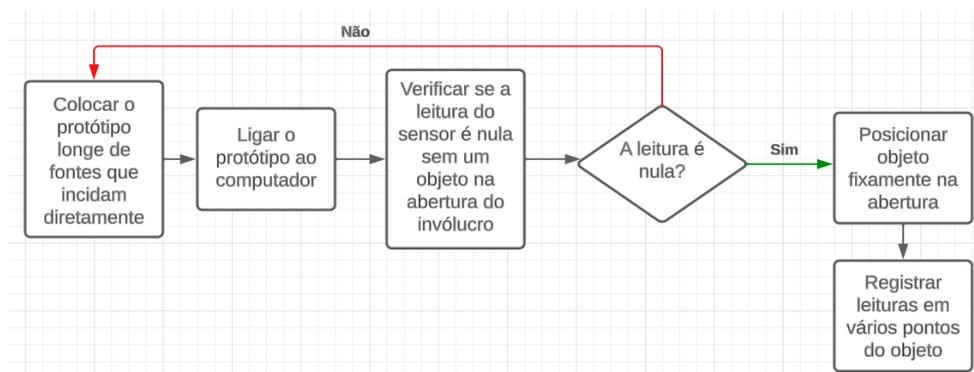
Figura 2 – Protótipo inicial



Fonte: Autoria própria.

O invólucro foi feito usando a tecnologia de impressão 3D, utilizando PLA na cor preta com o objetivo de minimizar a reflexão de luz do invólucro e assim evitar interferência nas leituras do sensor. Para realizar leituras e obter dados de uma amostra, uma metodologia foi seguida, com o objetivo de obter dados consistentes. Primeiramente, foi escolhido um local com pouca iluminação, na sequência o protótipo foi conectado ao computador e adquiridas leituras sem um objeto alvo posicionado na abertura do invólucro, com as leituras sendo nulas, ou seja, indicando nenhuma interferência de luz externa, o objeto alvo foi posicionado fixamente na abertura em várias posições diferentes e múltiplas leituras foram tomadas em diferentes pontos, um fluxograma com os passos seguidos pode ser visto na figura abaixo:

Figura 3 – Fluxograma de procedimento



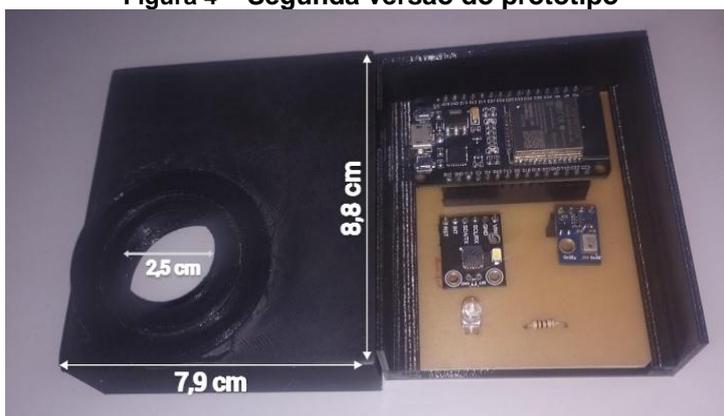
Fonte: Autoria própria.

Durante os testes com diferentes frutas, verificou-se que os canais sensitivos dos comprimentos de onda maiores tinham uma faixa de leituras bem pequenas comparadas a faixa que o sensor consegue medir, isso ocorreu porque o LED presente no módulo do sensor, e utilizado para iluminar os alvos, possuía uma emissão centrada nos comprimentos de onda visíveis, e pouca emissão nos comprimentos de onda



infravermelhos captados pelos canais do AS7263. Um LED infravermelho na faixa de 850 nm foi adicionado ao projeto com o objetivo de aumentar a faixa de intensidade de luz captada pelo sensor, corrigindo o problema. Além disso um sensor de temperatura e umidade AHT10 (ASAIR, China) foi inserido no projeto para avaliar futuramente a influência dessas variáveis nas respostas obtidas com o espectrômetro. A imagem abaixo mostra a segunda versão do protótipo com os sensores utilizados, o LED infravermelho e o novo invólucro.

Figura 4 – Segunda versão do protótipo



Fonte: Autoria própria.

Novos testes com a nova versão foram realizados, onde verificou-se que a o LED gerou um aumento da faixa de leituras do sensor satisfatória. Por conseguinte, uma análise da maturação pelo tempo foi proposta para verificar a relação entre a resposta espectral e o estágio de maturação. Para isso buscou-se utilizar um tipo de fruta que tenha um processo de maturação rápido, uma maturação visualmente aparente para o monitoramento ser viável e que seja comum aos consumidores. Uma fruta que atende estes requisitos é a banana, da qual a variedade utilizada foi a banana caturra.

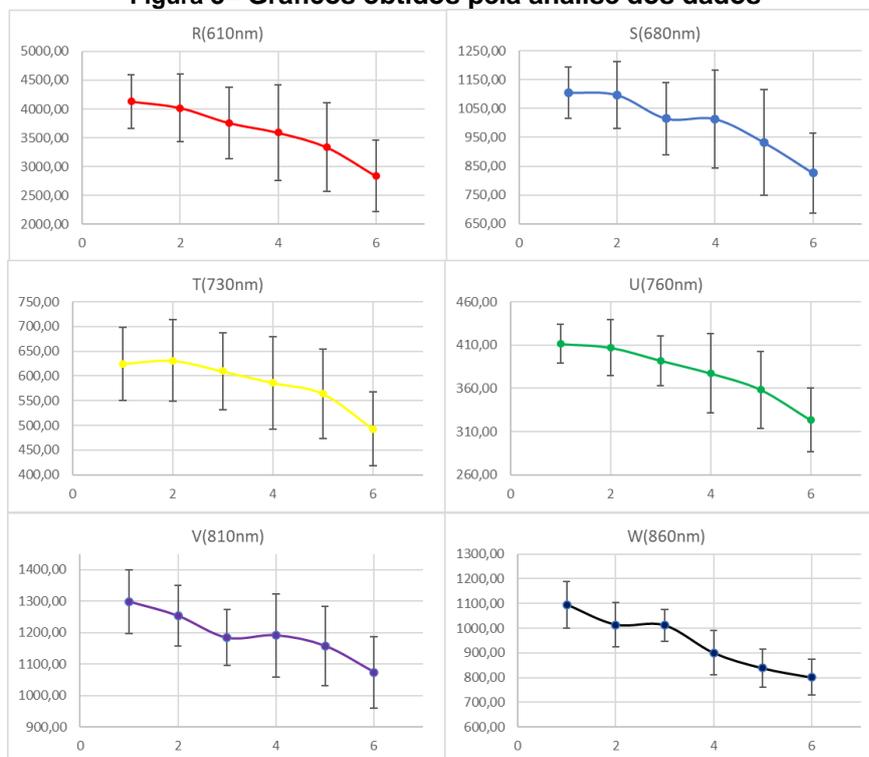
O método de coleta de dados foi a mesma descrita anteriormente, os dados foram coletados seguindo o seguinte padrão: foram registradas cinco leituras em cada ponto, em nove pontos diferentes da superfície do fruto sendo três pontos na região central, três pontos na parte inferior e três na parte superior. As leituras do mesmo ponto têm alta repetibilidade de valores, que é uma característica importante verificada no sensor AS7263, essa repetibilidade nas cinco amostras do mesmo ponto foi utilizada como referência de boa fixação do alvo. A coleta foi repetida durante seis dias, desde o ponto de maturação de transição do verde para o amarelo do fruto, até o estágio de maturação com grandes manchas negras aparentes na casca dos exemplares, no total foram utilizadas três frutas da mesma penca, adquiridas em um supermercado da região.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As coletas resultaram em 45 leituras por canal do sensor por dia, para cada exemplar. Para a análise dos dados, gráficos de média e erro foram gerados utilizando a média e o desvio padrão das amostras de cada dia para cada canal. Os gráficos gerados para os dados podem ser vistos na sequência, sendo que cada um deles apresenta os

dados em média da resposta digital do sensor ao longo dos dias dos três exemplares examinados.

Figura 5– Gráficos obtidos pela análise dos dados



Fonte: Autoria própria

Analisando os gráficos percebe-se uma linha de tendência para cada um dos canais, indicando a correlação entre a maturação e a resposta espectral das amostras. Além disso evidencia-se um desvio padrão elevado na maioria das médias, tal característica pode ser explicada pela grande quantidade de manchas e irregularidades na superfície dos exemplares analisados e pela pequena variação de distância entre o ponto medido na superfície e a abertura do sensor, devido à forma irregular dos frutos.

## CONTINUIDADE DO PROJETO

Um sensor de espectro AS7341 (AMS, Áustria) com tecnologia e funcionamento semelhantes ao AS7263, porém focado nos comprimentos de ondas visíveis será adicionado ao protótipo, com o propósito de aumentar a faixa de comprimentos de onda cobertos pelo protótipo e permitir a análise de qualidade e maturação em relação às cores das frutas. Assim, por conseguinte, o protótipo será inserido em análises conjuntas com narizes eletrônicos.

Novas coletas serão realizadas utilizando exemplares em diferentes estágios de maturação para diferentes tipos de frutas, para que um banco de dados das respostas espectrais seja feito e, assim, viabilizando a implementação de ferramentas de inteligência artificial, como Redes Neurais Artificiais, para classificação supervisionada de dados.



## CONCLUSÃO

Muitos desafios ainda fazem frente ao desenvolvimento do protótipo, entre eles podemos citar a necessidade de grande quantidade de coletas de dados e a necessidade de utilização de modelos estatísticos/computacionais mais adequados para a análise de dados futuras. A influência de fatores ambientais, como umidade e temperatura, nos dados gerados pelo sensor ainda precisa ser mitigada. Em suma, os resultados iniciais demonstraram que esta é uma ferramenta viável para análises não só de maturação de frutas, mas de controle de qualidade no geral, como visto nos resultados iniciais e em aplicações semelhantes.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná (FA) pelo apoio na realização do trabalho por meio do Programa Institucional De Bolsas De Iniciação Tecnológica (PIBIT) Da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

## CONFLITO DE INTERESSE

Não há conflito de interesse entre os autores.

## REFERÊNCIAS

BEGHI, R. et al. Electronic nose and visible-near infrared spectroscopy in fruit and vegetable monitoring. **Reviews in Analytical Chemistry**, v. 36, n. 4, 13 jun. 2017.

DESHPANDE, A.; DESHPANDE, S.; DHANDE, S. **NIR Spectroscopy Based Milk Classification and Purity Prediction**. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9686473/>>. Acesso em: 18 set. 2023.

NICOLAÏ, B. M. et al. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. **Postharvest Biology and Technology**, v. 46, n. 2, p. 99–118, nov. 2007.

PAMPURI, A. et al. Design of cost-effective LED based prototypes for the evaluation of grape (*Vitis vinifera* L.) ripeness. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 189, p. 106381, out. 2021.

POREP, J. U.; KAMMERER, D. R.; CARLE, R. On-line application of near infrared (NIR) spectroscopy in food production. **Trends in Food Science & Technology**, v. 46, n. 2, p. 211–230, dez. 2015.

SRIPAURYA, T. et al. Gros Michel banana soluble solids content evaluation and maturity classification using a developed portable 6 channel NIR device measurement. **Measurement**, p. 108615, out. 2020.