



## USO DA ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO PARA ESTIMAR O TEOR DE UMIDADE EM FRUTAS DE UVAIA (*Eugenia pyriformis*)

**Livia M. F. REIS<sup>1</sup>; Mirela M. DIAS<sup>2</sup>; Matheus de O. SANTOS<sup>3</sup>; Carlos A. M. M. OLIVEIRA<sup>4</sup>;  
Guilherme de F. P. de SOUZA<sup>5</sup>; Maiqui IZIDORO<sup>6</sup>; Tais C. F. de T. SARTORI<sup>7</sup>**

### RESUMO

Este estudo avaliou a aplicabilidade da espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) como método não destrutivo para estimativa do teor de umidade em frutos de uvaia (*Eugenia pyriformis*). Foram analisadas 160 amostras por espectrômetro FT-NIR em modo de reflectância difusa, correlacionando-se os espectros médios com valores de umidade determinados por método gravimétrico padrão. Os modelos PLSR com pré-processamento MSC e 1ª derivada apresentaram elevado desempenho preditivo ( $R^2 = 0,922$ ; RMSEP = 0,84%). Os resultados indicam forte potencial da técnica para uso em análises rápidas e em tempo real. A abordagem propõe uma alternativa viável para o monitoramento da qualidade pós-colheita de frutos nativos.

**Palavras-chave:** Pós-colheita; Modelagem preditiva; Qualidade de frutas; Análise não destrutiva.

### 1. INTRODUÇÃO

A uvaia (*Eugenia pyriformis*), fruta nativa da Mata Atlântica, apresenta elevado potencial nutricional, sensorial e funcional, destacando-se pelo conteúdo de açúcares, ácidos orgânicos, carotenoides e aminoácidos (Spricigo et al., 2023). No entanto, o alto teor de umidade e a polpa delicada tornam a espécie altamente perecível, dificultando sua conservação, transporte e aproveitamento agroindustrial. Nesse contexto, a determinação precisa da umidade é essencial para avaliar a qualidade pós-colheita e definir estratégias de armazenamento adequadas.

Métodos tradicionais, como a secagem em estufa, são amplamente utilizados, mas apresentam limitações por serem destrutivos, demorados e exigirem infraestrutura laboratorial. Como alternativa, cresce o interesse pela espectroscopia no infravermelho próximo (NIR), tecnologia não destrutiva que permite estimar parâmetros físico-químicos de forma rápida, sem preparo de amostras e com potencial para aplicações em tempo real (Alves et al., 2024).

Embora a NIR seja amplamente aplicada em sementes e frutas tropicais, ainda há escassez de estudos sobre seu uso em frutos nativos brasileiros, como a uvaia. Trabalhos recentes com pitanga

<sup>1</sup>Bolsista PIBIC/CNPq, IFSULDEMINAS – Campus Muzambinho. E-mail: liiviiamariia.f@gmail.com.

<sup>2</sup>Bolsista PIBIC/CNPq, IFSULDEMINAS – Campus Muzambinho. E-mail: mirelamendesdias@gmail.com

<sup>3</sup>Colaborador, UNIFENAS– Campus Alfenas - E-mail: matheus\_santos4@live.com

<sup>4</sup>Colaborador, UNESP-Campus Jaboticabal - E-mail: carlos.mendonca@unesp.br

<sup>5</sup>Colaborador, UNESP-Campus Jaboticabal - E-mail: guilherme.p.souza@unesp.br

<sup>6</sup>Coorientador, Universidade Professor Edson Antônio Velano – Campus Alfenas. E-mail: maiqui.izidoro@unifenas.br.

<sup>7</sup>Orientadora, IFSULDEMINAS – Campus Muzambinho. E-mail: tais.toledo@ifsuldeminas.edu.br.

(*Eugenia uniflora*) e frutas tropicais, como seriguela e umbu, evidenciaram a eficácia da NIR associada à regressão por mínimos quadrados parciais (PLSR) na predição de atributos de qualidade (Souza et al., 2022; Alves et al., 2024). Assim, este estudo teve como objetivo avaliar a aplicabilidade da espectroscopia NIR como ferramenta rápida e não destrutiva para estimar o teor de umidade em frutos de uvaia, visando o desenvolvimento de modelos preditivos robustos para o monitoramento da qualidade pós-colheita dessa espécie.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados 160 frutos de uvaia (*Eugenia pyriformis* Cambess.) provenientes das safras de 2024 e 2025, colhidos em pomar experimental localizado em Campestre, sul de Minas Gerais, Brasil (21°42' S, 46°14' W; 1.052 m de altitude). A colheita foi realizada manualmente, selecionando-se apenas frutos íntegros, sem defeitos aparentes e com tamanho uniforme. Após a colheita, os frutos foram acondicionados em caixas plásticas ventiladas e transportados ao laboratório sob temperatura ambiente controlada ( $20 \pm 2$  °C).

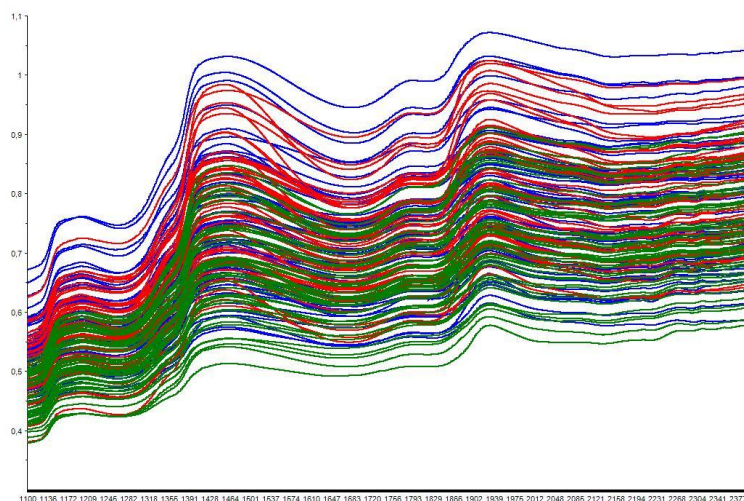
As medições espectrais foram realizadas por espectroscopia no infravermelho próximo (NIR), utilizando espectrômetro FT-IR Spectrum 100 N (Perkin Elmer, Shelton, CT), equipado com célula de reflectância difusa. Os espectros foram adquiridos no intervalo de 4.000 a 10.000  $\text{cm}^{-1}$  (equivalente a 714–2.500 nm), com resolução de 8  $\text{cm}^{-1}$  e 64 varreduras por leitura. Cada fruto foi escaneado em três posições distintas da superfície, considerando-se o espectro médio como representativo da amostra.

O teor de umidade foi determinado pelo método gravimétrico, utilizando 3 g de polpa de cada amostra, secas em estufa com circulação forçada de ar a 105 °C até massa constante. O cálculo foi realizado com base na diferença entre a massa inicial e a massa seca, conforme metodologia da AOAC (2012). Os espectros foram submetidos a pré-processamentos por correção multiplicativa de espalhamento (MSC), normalização por variância padrão (SNV) e derivadas de Savitzky–Golay, visando reduzir ruídos e aumentar a sensibilidade dos modelos. A seleção de variáveis espectrais foi realizada pelos métodos iPLS (interval partial least squares) e algoritmo genético (GA), conforme Mishra et al. (2021).

### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta os espectros de refletância difusa no infravermelho próximo (NIR) obtidos para frutos de uvaia (*Eugenia pyriformis*), no intervalo de 1100 a 2377 nm. As curvas exibem o perfil espectral típico de matrizes vegetais frescas, com bandas largas atribuídas às vibrações de

estiramento e combinação dos grupos O–H, C–H e N–H, associados principalmente à presença de água, açúcares e compostos orgânicos. Observa-se variação na intensidade de absorbância entre as cultivares, especialmente nas regiões de 1400–1500 nm e 1900–2000 nm, fortemente relacionadas ao teor de umidade. Essas diferenças espectrais evidenciam que a composição físico-química intrínseca das cultivares influencia a interação da radiação com os tecidos, confirmando a aplicabilidade da espectroscopia NIR para modelagem preditiva. Resultados semelhantes foram descritos por Mishra et al. (2021) em frutas tropicais, destacando a sensibilidade da técnica às variações estruturais e composicionais.



**Figura1.** Espectros de reflectância difusa NIR brutos (1000 a 2500 nm).

A regressão por mínimos quadrados parciais (PLSR) associada à espectroscopia NIR apresentou elevada eficiência na predição do teor de umidade em frutos de uvaia. O modelo que utilizou a combinação de multiplicative scatter correction (MSC) e primeira derivada de Savitzky–Golay apresentou o melhor desempenho, com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de calibração de 0,945,  $R^2$  de validação de 0,922 e erro quadrático médio de predição (RMSEP) de 0,84% (Tabela 1).

**Tabela 1.** Desempenho dos modelos PLSR para estimativa da umidade em frutos de uvaia.

<b>Pré-processamento</b>	<b>Calibração (<math>R^2</math>)</b>	<b>Validação (<math>R^2</math>)</b>	<b>RMSEP(%)</b>
MSC + 1ª derivada	0,945	0,922	0,84
SNV + 2ª derivada	0,931	0,910	0,96
Sem pré-processamento	0,872	0,854	1,25

Esses resultados reforçam o potencial da espectroscopia NIR como tecnologia rápida, precisa e não destrutiva para estimativas de umidade em frutos frescos, em concordância com evidências anteriores em outras frutas tropicais. Em morangos, por exemplo, Sánchez et al. (2012) relataram

valores de  $R^2$  superiores a 0,90 para sólidos solúveis e firmeza utilizando espectrômetro portátil, demonstrando a aplicabilidade da técnica em diferentes matrizes vegetais.

## 5. CONCLUSÃO

A espectroscopia NIR mostrou-se uma ferramenta rápida e não destrutiva para a estimativa do teor de umidade em frutos de uvaia (*Eugenia pyriformis*). Os modelos PLSR apresentaram desempenho satisfatório, com boa capacidade preditiva e robustez entre safras. Esses resultados confirmam a viabilidade de aplicação da técnica no monitoramento da qualidade pós-colheita, contribuindo para a otimização de processos e a redução de perdas, em concordância com achados prévios em frutas tropicais.

## AGRADECIMENTOS

Ao IFSULDEMINAS – Campus Muzambinho pela concessão da bolsa CNPq-EM e à UNESP pela disponibilização dos equipamentos utilizados nesta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

ALVES, M. C. S.; SILVA, T. A.; TONETTI, O. A. O.; JOSÉ, A. C.; HEIN, P. R. G.; FARIA, J. M. R. Use of near infrared spectroscopy for estimating moisture content in Brazilian cherry (*Eugenia uniflora* L.) seeds submitted to dehydration. **Cerne**, Lavras, v. 30, e103414, 2024.

AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - International. 19th edition – Gaithersburg. Current Through Revision 2, 2012.

BLAKEY, R. J.; TERRY, L. A.; WHITE, A.; ALI, A. Predicting firmness and dry matter of Hass avocado fruit using near-infrared spectroscopy. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 107, p. 44–50, 2015.

MISHRA, P.; PASSOS, D.; FERREIRA, D. S.; WILLIAMS, P. J. Improving moisture and soluble solids content prediction in pear fruit using near-infrared spectroscopy with variable selection and model updating approach. **Biosensors**, Basel, v. 11, n. 10, p. 1–18, 2021.

SÁNCHEZ, M. T.; OJEDA, J.; PÉREZ-MARÍN, D.; GARRIDO-VARO, A.; GUTIÉRREZ, A. F. Non-destructive characterization and quality control of intact strawberries based on NIR spectral data. **Journal of Food Engineering**, [S.l.], v. 110, n. 1, p. 102–108, 2012.

SOUZA, P. A.; FERREIRA, I. J. S.; COSTA, D. S. Determination of quality attributes and ripening stage using VIS-NIR spectroscopy in intact seriguela and umbu fruits. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 127–141, 2022.

SPRICIGO, P. C.; ALMEIDA, L. S.; RIBEIRO, G. H.; CORREIA, B. S. B.; TAVER, I. B.; JACOMINO, A. P.; COLNAGO, L. A. Quality attributes and metabolic profiles of uvaia (*Eugenia pyriformis*), a native Brazilian Atlantic Forest fruit. **Foods**, Basel, v. 12, p. 1881, 2023.