



OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

2 FOME ZERO
E AGRICULTURA
SUSTENTÁVEL



COMUNICADO
TÉCNICO

189

Petrolina, PE
Outubro, 2022

Embrapa

Uso de espectrômetros Vis-NIR para a determinação de parâmetros de qualidade físico-química de mangas

Sérgio Tonetto de Freitas
Emanuel José Nascimento Marques

Uso de espectrômetros Vis-NIR para a determinação de parâmetros de qualidade físico-química de mangas¹

¹ Sérgio Tonetto de Freitas, engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Biologia de Plantas, pesquisador da Embrapa Semiárido, Petrolina, PE; Emanuel José Nascimento Marques, químico, D.Sc. Química, Campinas, SP.

Introdução

A manga é uma fruta cultivada em várias regiões tropicais e subtropicais do mundo, sendo uma importante fonte de nutrientes. O Vale do São Francisco, onde estão localizados os municípios de Petrolina, PE e Juazeiro, BA, é um dos principais polos produtores de manga do Brasil, sendo responsável por 70% da produção nacional, com um total de 1.095.098 toneladas produzidas e 245.304 toneladas exportadas anualmente (Anuário Brasileiro de Horti e Fruti, 2022).

Apesar da importância da mangicultura para a economia do Vale do São Francisco e do Brasil, a agroindústria da manga ainda apresenta grandes limitações como a falta de métodos precisos para monitorar a qualidade dos frutos no pomar e identificar a maturação ideal de colheita, visando à alta qualidade dos frutos maduros e a satisfação dos consumidores. Atualmente, o monitoramento da qualidade dos frutos para identificar a maturação de colheita é realizado com a amostragem de um número limitado de frutos no pomar. Após a colheita, estes frutos são submetidos

a avaliações físico-químicas destrutivas, levando à perda de um grande volume de frutos.

A colheita é realizada com base em parâmetros visuais pouco precisos como tamanho, cor da casca e formação do 'ombro' do fruto. Esta falta de métodos mais precisos para determinar o estágio ideal de maturação para a colheita pode resultar na comercialização de frutos com baixa e heterogênea qualidade de consumo, aumentando o índice de perdas pós-colheita devido ao amadurecimento acelerado de alguns frutos, bem como a falta de amadurecimento pleno em outros (Marques et al., 2016; Ntsoane et al., 2019). Para solucionar esses problemas, novas práticas precisas de análise dos frutos devem ser incorporadas na agroindústria da manga, as quais irão garantir a colheita de frutos no estágio ideal de maturação, evitando-se também desperdícios com a avaliação não destrutiva dos frutos (Sánchez et al., 2013; Wang et al., 2018).

A espectroscopia na região do visível e infravermelho próximo (Vis-NIR — do inglês *Visible and Near Infrared*) é uma

técnica não destrutiva que vem sendo bastante utilizada em outros países para monitorar a qualidade e identificar a maturação ideal de colheita de frutos como tangerina, manga, pera, cereja e abacate (Sánchez et al., 2013; Marques et al., 2016; Choi et al., 2017; Wang et al., 2018; Nacama et al., 2018; Subedi; Walsh, 2020).

A espectroscopia Vis-NIR tem como princípio a quantificação de parâmetros físicos e químicos que apresentem interações diretas ou indiretas com a radiação eletromagnética na região do visível com comprimentos de onda entre 370 nm (violeta) e 779 nm (vermelho), assim como na região do infravermelho próximo com comprimentos de onda entre 780 nm e 2.500 nm (Lima; Bakker, 2011). Esta técnica, além de ser não destrutiva, apresenta as vantagens de ser rápida, precisa, assim como não necessitar de preparo de amostras e reagentes químicos, estando alinhada aos preceitos da química verde.

Atualmente, novos espectrômetros Vis-NIR portáteis disponíveis no mercado apresentam uma alta precisão analítica a um baixo custo (Correia et al., 2018; Marques e Freitas, 2020), possibilitando uma ampla adoção desta tecnologia pela agroindústria de manga. Entretanto, apesar da alta precisão destes equipamentos na avaliação da qualidade de frutos (Marques et al., 2016; Marques e Freitas, 2020), o uso de espectrômetros Vis-NIR na rotina da agroindústria para monitorar a qualidade físico-química de mangas necessita de um processo prévio de calibração e de

validação destes equipamentos para cada genótipo e condições de cultivo.

As informações apresentadas nesta publicação focam a otimização nas atividades pós-colheita de mangas, especificamente na identificação do ponto ideal de colheita com a realização de análises não destrutivas, evitando-se desperdícios. Assim, está em harmonia com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), da Organização das Nações Unidas (ONU), especialmente com o objetivo 2, que visa, entre outras metas, garantir a estruturação de sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes (Nações Unidas, 2022).

Calibração de espectrômetros Vis-NIR para avaliar a qualidade físico-química de mangas

Estudos da Embrapa Semiárido mostram que o processo de desenvolvimento de modelos de calibração para o uso de espectrômetros Vis-NIR na avaliação da qualidade físico-química de mangas deve ser realizado para cada cultivar, visando uma alta precisão dos modelos na determinação da qualidade dos frutos (Figura 1). No processo de calibração de espectrômetros Vis-NIR para cada cultivar, 100 ou mais frutos devem ser colhidos nos estádios de maturação 1 a 4 (Santos et al., 2008). Modelos de calibração desenvolvidos com mais frutos

podem apresentar maior precisão e exatidão na determinação dos parâmetros de qualidade. Após a colheita, os frutos devem ser lavados, secos e mantidos à temperatura ambiente de aproximadamente 25 °C (Figura 1).

Devido à grande variação de qualidade, que pode ocorrer em cada lado do fruto, cada um deles deve ser avaliado como uma amostra independente, totalizando 200 amostras. A coleta dos espectros Vis-NIR deve ser realizada posicionando-se o espectrômetro sobre a casca na região equatorial de cada lado do fruto (Figura 1). Os espectros devem ser coletados no modo de reflectância, onde o equipamento emitirá a radiação

Vis-NIR que irá penetrar na casca e polpa do fruto, sendo uma parte da radiação absorvida e outra refletida de volta para o sensor do espectrômetro, o qual registrará a intensidade da radiação refletida/absorvida nos diferentes comprimentos de onda, gerando um espectro Vis-NIR com as informações físicas e químicas de cada amostra (Figura 1).

Após a coleta dos dados espectrais, cada lado do fruto deve ser submetido à avaliação de referência para os parâmetros de qualidade físico-química de interesse, como teor de matéria seca, sólidos solúveis, acidez titulável, amido, entre outros (Figura 1).

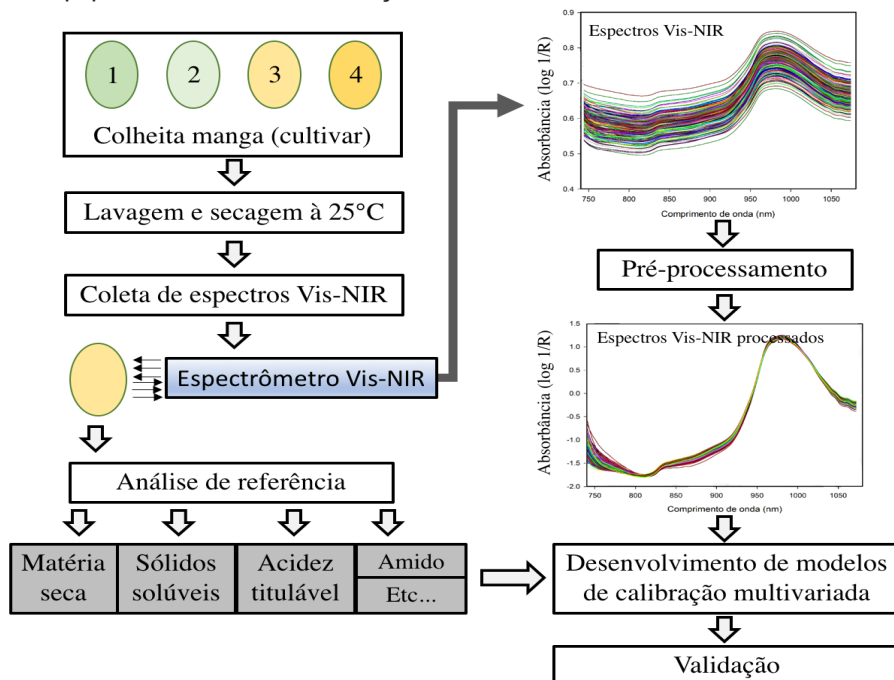


Figura 1. Fluxograma para o desenvolvimento de modelos de calibração que possibilitem o uso de espectrômetros Vis-NIR para a avaliação não destrutiva da qualidade físico-química de mangas.

Ilustração: Sérgio Tonetto de Freitas

As análises de referência são realizadas empregando-se métodos analíticos padronizados e validados, geralmente destrutivos, com alta precisão analítica (Aoac, 2000). Após a coleta dos dados espectrais e de referência para cada variável de qualidade, estes devem ser utilizados no processo de desenvolvimento de modelos matemáticos que serão capazes de “capturar” as informações espectrais e “interpretar” estas informações para os valores das variáveis de qualidade de interesse (Figura 1). Previamente ao processo de calibração, os dados espectrais devem ser submetidos ao pré-processamento para corrigir desvios causados pelo espalhamento da luz (Figura 1). Esta correção deve ser realizada com diferentes métodos de pré-processamento espectral, tais como: correção do espalhamento multiplicativo (MSC — *multiplicative scatter correction*), variação normal padrão (SNV — *standard normal variate*), derivadas de primeira ou segunda ordem com filtros de suavização, normalização vetorial (Rinnan et al., 2009), entre outros (Figura 1).

Dados espectrais corrigidos e dados obtidos pela análise de referência serão utilizados para obter os modelos de calibração multivariada com o auxílio de softwares de modelagem como o *The Unscrambler* (CAMO, Oslo, Noruega) e MATLAB (Mathworks, Natick, EUA), conforme descrito por Marques et al. (2016) e Marques e Freitas (2020). A faixa espectral Vis-NIR utilizada depende da característica técnica de cada espectrômetro.

Validação de espectrômetros Vis-NIR para avaliar a qualidade físico-química de mangas

Após a obtenção dos modelos de calibração para cada parâmetro de qualidade físico-química de interesse, estes modelos devem ser validados utilizando-se uma nova amostra de mangas da mesma cultivar utilizada no processo de calibração (Figura 1). No processo de validação, os frutos são avaliados a 25 °C para os parâmetros de qualidade de interesse empregando-se os modelos matemáticos desenvolvidos na etapa de calibração, assim como as análises de referência para cada parâmetro de qualidade (Aoac, 2000).

Os valores de cada característica de qualidade de cada fruto determinados de forma não destrutiva com o espectrômetro Vis-NIR e destrutiva por meio da análise de referência serão utilizados para determinar o erro analítico (raiz quadrada do erro médio quadrático de validação cruzada, RMSECV, do inglês *root mean square error of cross validation*) e o desempenho preditivo de cada modelo de calibração (coeficiente de determinação, R²) (Figura 2).

Na etapa de validação para mangas, aproximadamente 50 frutos da mesma cultivar utilizada na calibração são necessários para avaliar a precisão e exatidão dos modelos de calibração (Figura

2) (Marques et al., 2016). Após o processo de validação, modelos precisos podem ser carregados nos espectrômetros Vis-NIR possibilitando o uso destes equipamentos para a “leitura” direta da qualidade dos frutos. Desta forma, modelos desenvolvidos para determinar parâmetros de qualidade em mangas como

teor de matéria seca, sólidos solúveis, acidez titulável, cor de casca e polpa podem ser utilizados para monitorar de forma mais precisa a maturação de colheita dos frutos.

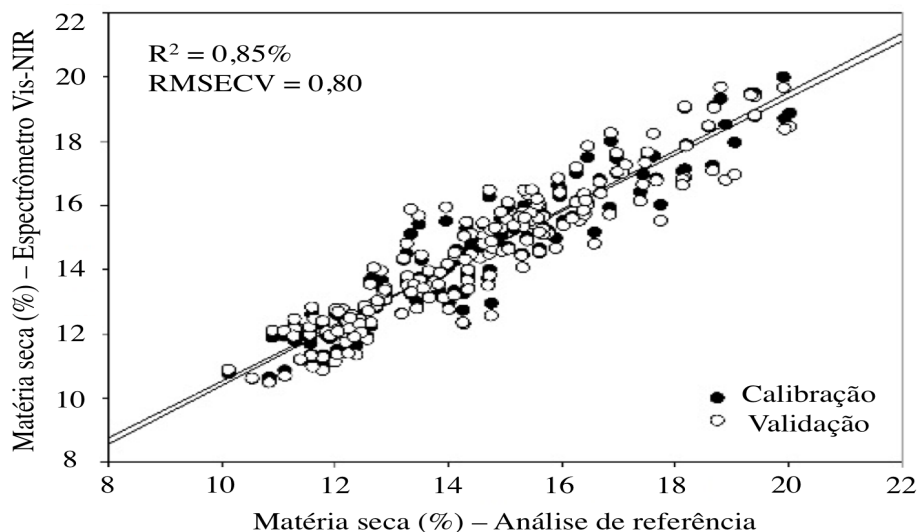


Figura 2. Validação de espectrômetro Vis-NIR para avaliar o teor de matéria seca de mangas. Valores de matéria seca de mangas determinados com espectrômetro Vis-NIR e com a análise padrão de referência. O desempenho preditivo do modelo é indicado pelo coeficiente de determinação (R^2). Erro analítico do modelo é dado pelo valor da raiz quadrada do erro médio quadrático de validação cruzada, RMSECV (do inglês *root mean square error of cross validation*). Círculos fechados representam dados de calibração, círculos abertos representam dados de validação.

Considerações finais

Espectrômetros Vis-NIR portáteis e de baixo custo podem ser utilizados para avaliar de forma não destrutiva, rápida e precisa diferentes parâmetros de qualidade em mangas produzidas no Semiárido brasileiro. Entretanto, esses equipamentos necessitam ser calibrados

e validados para cada cultivar e condições de cultivo, visando obter resultados precisos e confiáveis na análise da qualidade dos frutos. Modelos de calibração desenvolvidos para uma determinada cultivar em uma determinada condição de cultivo devem ser validados para uso

em outras cultivares e condições de cultivo. Neste caso, uma precisão baixa dos modelos na etapa de validação pode ser aumentada com a inclusão de amostras de frutos que representem as novas condições de uso dos espectrômetros Vis-NIR.

Referências

- ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTI E FRUTI 2022. Santa Cruz do Sul: Ed. Gazeta Santa Cruz, 2022. Disponível em: https://www.editoragazeta.com.br/sitewp/wp-content/uploads/2022/04/HORTIFRUTI_2022.pdf. Acesso em: 8 jul. 2022.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official method of analysis (AOAC) International**. 17th edition. Maryland, 2000.
- CHOI, J. H.; CHEN, P. A.; LEE, B. H. N.; YIM, S. H.; KIM, M. S.; BAE, Y. S.; LIM, D. C.; SEO, H. J. Portable, non-destructive tester integrating VIS/NIR reflectance spectroscopy for the detection of sugar content in asian pears. **Scientia Horticulturae**, v. 220, n. 16, p. 147-153, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.03.050>.
- CORREIA, R. M.; TOSATO, F.; DOMINGOS, E.; RODRIGUES, R. R. T.; AQUINO, L. F. M.; FILGUEIRAS, P. R.; LACERDA, V.; ROMÃO, W. Portable near infrared spectroscopy applied to quality control of Brazilian coffee. **Talanta**, v. 176, p. 59-68, 2018. DOI: [10.1016/j.talanta.2017.08.009](https://doi.org/10.1016/j.talanta.2017.08.009).
- LIMA, A., BAKKER, J. Espectroscopia no infravermelho próximo para a monitorização da perfusão tecidual. **Revista Brasileira de Terapia Intensiva**, v. 23, n. 3, p. 341-351, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-507X2011000300013>.
- MARQUES, E. J. N.; FREITAS, S. T.; PIMENTEL, M. F.; PASQUINI, C. Rapid and non-destructive determination of quality parameters in the 'Tommy Atkins' mango using a novel handheld near infrared spectrometer. **Food Chemistry**, v. 197, p. 1207-1214, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.080>.
- MARQUES, E. J. N.; FREITAS, S. T. Performance of new low-cost handheld NIR spectrometer for nondestructive analysis of umbu (*Spondias tuberosa* Arruda) quality. **Food Chemistry**, v. 323, n. 1, p. 1-10, 2020. DOI: [10.1016/j.foodchem.2020.126820](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126820).
- NAÇÕES UNIDAS. **Objetivo de desenvolvimento sustentável 2: fome zero e agricultura sustentável**. 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/2>. Acesso em: 12 mar. 2022.
- NCAMA, K.; MAGWAZA, L. S.; POBLETE-ECHEVERRÍA, C. A.; NIEUWOUDT, H. H.; TESFAY, S. Z.; MDITSHWA, A. On-tree indexing of 'Hass' avocado fruit by non-destructive assessment of pulp dry matter and oil content'. **Biosystems Engineering**, v. 174, p. 41-49, 2018. DOI: [10.1016/j.biosystemseng.2018.06.011](https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.06.011).
- NTSOANE, M. L.; ZUDE-SASSE, M.; MAHAJAN, P.; SIVAKUMAR, D. Quality assessment and postharvest technology of mango: a review of its current status and future perspectives. **Scientia Horticulturae**, v. 249, p. 77-85, 2019. DOI: [10.1016/j.scienta.2019.01.033](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.033).
- SÁNCHEZ, M. T.; LA HABA, M. J.; PÉREZ-MARÍN, D. Internal and external quality assessment of mandarins on-tree and at harvest using a portable NIR spectrophotometer. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 92, p. 66-74, 2013. DOI: [10.1016/J.COMPAG.2013.01.004](https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2013.01.004).
- SANTOS, D. B.; PEREIRA, M. E. C.; VIEIRA, E. L.; LIMA, M. A. C. de. Caracterização físico-química dos estádios de maturação da manga 'Tommy Atkins' produzida no município de Iaçu-BA. **Magistra**, v. 20, p. 342-348, 2008. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA-2009-09/40775/1/OPB2312.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2022.
- SUBEDI, P. P.; WALSH, K. B. Assessment of avocado fruit dry matter content using portable near infrared spectroscopy: method and instrumentation optimization. **Postharvest Biology and Technology**, v. 161, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.111078>.
- WANG, T.; CHEN, J.; FAN, Y.; QIU, Z.; HE, Y. SeeFruits: design and evaluation of a cloud-based ultra-portable NIRS system for sweet cherry quality detection. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 152, p. 302-313, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.07.017>.

Exemplares desta edição
podem ser adquiridos na:

Embrapa Semiárido
Rodovia BR-428, Km 152,
Zona Rural - Caixa Postal 23
CEP: 56302-970 - Petrolina, PE
Fone: +55(87) 3866-3600
Fax: +55(87) 3866-3815
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

1ª edição
Versão digital (2022)



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



*Comitê Local de Publicações
da Embrapa Semiárido*

*Presidente
Anderson Ramos de Oliveira*

*Secretária-Executiva
Juliana Martins Ribeiro*

*Membros
Alineaurea Florentino Silva, Clarice Monteiro Rocha,
Clivia Danúbia Pinho da Costa Castro, Daniel Nogueira
Maia, Geraldo Milanez de Resende, Gislene Feitosa
Brito Gama, José Maria Pinto, Magnus Dall'Igna Deon,
Paula Tereza de Souza e Silva, Pedro Martins Ribeiro
Júnior, Sidinei Anuniação Silva*

*Supervisão editorial
Sidinei Anuniação Silva*

*Revisão de texto
Sidinei Anuniação Silva*

*Normalização bibliográfica
Sidinei Anuniação Silva (CRB-4/1727)*

*Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

*Editoração eletrônica
Sidinei Anuniação Silva*

*Foto da capa
Sérgio Tonetto de Freitas*