



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – PRODUÇÃO VEGETAL**

**WELLERSON KENNIE DO NASCIMENTO MACÊDO**

**ESPECTROSCOPIA VIS-NIR PORTÁTIL PARA A CARACTERIZAÇÃO E  
PREDIÇÃO DA QUALIDADE DE CONSUMO DE MANGAS 'PALMER'  
PRODUZIDAS NO VALE DO SÃO FRANCISCO**

**PETROLINA-PE**

**2024**

**WELLERSON KENNIE DO NASCIMENTO MACÊDO**

**ESPECTROSCOPIA VIS-NIR PORTÁTIL PARA A CARACTERIZAÇÃO E  
PREDIÇÃO DA QUALIDADE DE CONSUMO DE MANGAS ‘PALMER’  
PRODUZIDAS NO VALE DO SÃO FRANCISCO**

Dissertação apresentada a Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, *Campus* Ciências Agrárias, como requisito para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Tonetto de Freitas.

Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Karla dos Santos Melo de Souza.

**PETROLINA-PE**

**2024**

Macêdo, Wellerson Kennie do Nascimento

M141e Espectroscopia vis-nir portátil para a caracterização e predição da qualidade de consumo de mangas 'Palmer' produzidas no Vale do São Francisco./ Wellerson Kennie do Nascimento Macêdo. – Petrolina-PE, 2024.

142 f.: il.; 29 cm

Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal.) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, campus Ciências Agrárias, Petrolina-PE , 2024.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Tonetto de Freitas.

1. Manga - Qualidade - Estudo. 2. Mangifera indica L. – Vale do São Francisco 3. Fruticultura irrigada – Manga - Análise I. Título. II. Freitas, Sérgio Tonetto de (Orient.). III. Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 634.44

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Integrado de Biblioteca SIBI/UNIVASF

Bibliotecário: Fábio Santiago

CRB5/1785

UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – PRODUÇÃO VEGETAL

FOLHA DE APROVAÇÃO

WELLERSON KENNIE DO NASCIMENTO MACÊDO

ESPECTROSCOPIA VIS-NIR PORTÁTIL PARA A CARACTERIZAÇÃO E  
PREDIÇÃO DA QUALIDADE DE CONSUMO DE MANGAS ‘PALMER’  
PRODUZIDAS NO VALE DO SÃO FRANCISCO

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Produção Vegetal, pela Universidade Federal do Vale do São Francisco.

Aprovado em: 26 de fevereiro de 2024.

**Banca Examinadora**

Documento assinado digitalmente  
 **SERGIO TONETTO DE FREITAS**  
Data: 02/04/2024 13:01:49-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Sérgio Tonetto de Freitas, D.Sc., Embrapa Semiárido.

Documento assinado digitalmente  
 **KARLA DOS SANTOS MELO DE SOUSA**  
Data: 03/04/2024 08:38:06-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Karla dos Santos Melo de Souza, D.Sc., Univasf/CCA.

Documento assinado digitalmente  
 **LUANA FERREIRA DOS SANTOS**  
Data: 04/04/2024 09:18:42-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Luana Ferreira dos Santos, D.Sc., Embrapa Semiárido.

Documento assinado digitalmente  
 **DANIEL DOS SANTOS COSTA**  
Data: 04/04/2024 16:10:02-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Daniel dos Santos Costa, D.Sc., Univasf/Juazeiro.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador, Prof. Dr. Sérgio Tonetto, agradeço pela orientação, compreensão, paciência e discussões construtivas para o desenvolvimento do trabalho.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Karla Souza, minha coorientadora, por quem tenho grande admiração e respeito, agradeço pela orientação, incentivos e oportunidades concedidas desde a graduação.

Ao Prof. Dr. Daniel Costa, pela disponibilidade e ensinamentos essenciais sobre espectroscopia que ajudaram no desenvolvimento do presente trabalho.

À Dr<sup>a</sup>. Luana Ferreira, por sempre estar disponível para tirar dúvidas e dar sugestões para a melhoria do presente trabalho.

À minha família por todo o apoio e incentivo.

Aos meus amigos, companheiros de mestrado e de laboratório, especialmente Ana Catarina, Bruna Parente, Jasciane, Kananda Marçal, Natália Ferraz, Sandy e Tassiane Alves.

À equipe do Laboratório de Agroindústria (Univasf/CCA) e Pós – Colheita (Embrapa Semiárido) por disponibilizarem suas dependências para o desenvolvimento do presente trabalho. Ao Dr. Welson Simões pela colaboração para o desenvolvimento do experimento em campo.

À Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF).

## RESUMO

O Submédio do Vale do São Francisco é uma importante região do semiárido brasileiro, onde a fruticultura irrigada impulsiona arranjos produtivos e inovadores. A manga se destaca como uma fruta crucial para a economia da região, com seu cultivo e exportação impulsionando o desenvolvimento socioeconômico. Apesar de suas propriedades nutricionais e sabor excepcionais, a perecibilidade da manga devido à sua natureza climatérica afeta sua qualidade e vida útil, exigindo soluções para preservar a qualidade da fruta e reduzir perdas pós-colheita. A busca por métodos rápidos e não destrutivos para avaliar atributos de qualidade de frutas impulsionou o interesse global em técnicas espectroscópicas. A espectroscopia na região do visível e infravermelho próximo (Vis-NIR) oferece informações valiosas sobre a composição das frutas. Essa técnica, combinada com métodos quimiométricos, possibilita a quantificação de vários parâmetros de qualidade em mangas. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de diferentes espectrômetros Vis-NIR portáteis para a determinação de parâmetros de qualidade de mangas 'Palmer' no momento da colheita; e predição da qualidade de consumo das frutas maduras a partir de sua qualidade de colheita. Inicialmente, foi realizado um estudo para comparar a eficiência e precisão de espectrômetros Vis-NIR portáteis na avaliação da qualidade de mangas 'Palmer', onde o espectrômetro F-750 apresentou o melhor desempenho, especialmente para análise de matéria seca (MS). A previsão da qualidade de consumo das mangas 'Palmer' foi mais precisa quando avaliada a partir da MS não destrutiva determinada no estágio de maturação fisiológica. Outro estudo demonstrou que a aplicação de restrição hídrica em mangas 'Palmer' entre 3 e 5 semanas antes da colheita resulta em maior teor de MS e maior qualidade de consumo após o amadurecimento. Esse método, que pode ser avaliado de forma não destrutiva com alta precisão, mostra-se promissor para a produção de mangas de alta qualidade de consumo no Vale do São Francisco.

**Palavras-chave:** *Mangifera indica* L.; frutas; pós-colheita; quimiometria; calibração; semiárido; matéria seca; déficit hídrico.

## ABSTRACT

The sub-middle of the São Francisco Valley is an important region in the Brazilian semiarid, where irrigated fruit farming drives productive and innovative arrangements. Mango stands out as a crucial fruit for the region's economy, with its cultivation and exportation driving socio-economic development. Despite its exceptional nutritional properties and flavor, the perishability of mango due to its climacteric nature affects its quality and shelf life, demanding solutions to preserve the fruit's quality and reduce postharvest losses. The quest for rapid and non-destructive methods to assess fruit quality attributes has fueled global interest in spectroscopic techniques. Visible and Near-Infrared Spectroscopy (Vis-NIR) offers valuable insights into fruit composition. This technique, combined with chemometric methods, enables the quantification of various quality parameters in mangoes. The aim of this study was to evaluate the performance of different portable Vis-NIR spectrometers for determining quality parameters of 'Palmer' mangoes at harvest and predicting the eating quality of ripe fruit based on their harvest quality. Initially, a study was conducted to compare the efficiency and accuracy of portable Vis-NIR spectrometers in evaluating the quality of 'Palmer' mangoes, where the F-750 spectrometer showed the best performance, especially for dry matter (DM) analysis. The prediction of the eating quality of 'Palmer' mango was more accurate when assessed from non-destructive DM determined at the stage of physiological maturity. Another study demonstrated that applying water restriction to 'Palmer' mangoes between 3 and 5 weeks before harvest results in higher DM content and higher eating quality after ripening. This method, which can be evaluated non-destructively with high precision, shows promise for producing high-eating-quality mangoes in the São Francisco Valley.

**Keywords:** *Mangifera indica* L.; fruits; post-harvest; chemometrics; calibration; semiarid; dry matter; water deficit.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Morfologia da manga.....	23
<b>Figura 2</b> - Rendimento e participação dos principais estados na produção de mangas no Brasil em 2021. ....	24
<b>Figura 3</b> - Principais cultivares de mangas comercializadas no Brasil e no Vale do São Francisco. ....	28
<b>Figura 4</b> - Colheita (A e B), transporte (C), lavagem (D), secagem e identificação (E) das mangas ‘Palmer’ utilizadas no experimento .....	57
<b>Figura 5</b> - Espectrômetros portáteis utilizados: A) FieldSpec 3; B) Scio v.1.2; C) Telspec; D) F-750 Produce Quality Meter. ....	58
<b>Figura 6</b> - Fluxograma geral das análises espectrais e destrutivas em mangas ‘Palmer’. ....	59
<b>Figura 7</b> - Recepção e preparo (A), análises espectrais (B), armazenamento em câmara fria à 10°C ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ) (C) e seleção após o amadurecimento (D) de mangas ‘Palmer’ utilizadas no experimento.....	62
<b>Figura 8</b> – Espectros de absorbância (sem pré-processamentos) provenientes de mangas ‘Palmer’ registrados utilizando o espectrômetro F-750. A seta preta indica a banda de absorção de água localizada aproximadamente em 970 nm. ....	66
<b>Figura 9</b> - Espectros de absorbância (sem pré-processamentos) provenientes de mangas ‘Palmer’ registrados utilizando o espectrômetro Scio. A seta preta indica a banda de absorção de água localizada aproximadamente em 970 nm. ....	67
<b>Figura 10</b> - Espectros de absorbância (sem pré-processamentos) provenientes de mangas ‘Palmer’ registrados utilizando o espectrômetro Telspec. As setas pretas indicam as bandas de absorção de água localizadas aproximadamente em 970 e 1450 nm. A seta cinza indica a banda de absorção centralizada em 1190 nm. ....	67
<b>Figura 11</b> - Espectros de absorbância (sem pré-processamentos) provenientes de mangas ‘Palmer’ registrados utilizando o espectrômetro FieldSpec 3. As setas pontilhadas indicam na região visível as bandas de absorção em torno de 475 e 680 nm. As setas pretas indicam as bandas de absorção de água localizadas aproximadamente em 970, 1450 e 1940 nm. As setas cinzas indicam as bandas de absorção centralizadas em 1190 e 1750 nm.....	68

**Figura 12** - Luminosidade da polpa (LP) de mangas ‘Palmer’ determinada com métodos de referência e preditos com o uso dos espectrômetros: a) F-750, b) Scio, c) Telspec e d) FieldSpec 3. Modelos desenvolvidos por calibração multivariada (regressão por PLS). Dados de calibração (círculos pretos) e dados de validação cruzada (círculos cinzas). As linhas sólidas representam as retas de regressão..... 81

**Figura 13** - Cromaticidade da polpa (CP) de mangas ‘Palmer’ determinada com métodos de referência e preditos com o uso dos espectrômetros: a) F-750, b) Scio, c) Telspec e d) FieldSpec 3. Modelos desenvolvidos por calibração multivariada (regressão por PLS). Dados de calibração (círculos pretos) e dados de validação cruzada (círculos cinzas). As linhas sólidas representam as retas de regressão..... 82

**Figura 14** - Ângulo hue da polpa (hP) de mangas ‘Palmer’ determinado com métodos de referência e preditos com o uso dos espectrômetros: a) F-750, b) Scio, c) Telspec e d) FieldSpec 3. Modelos desenvolvidos por calibração multivariada (regressão por PLS). Dados de calibração (círculos pretos) e dados de validação cruzada (círculos cinzas). As linhas sólidas representam as retas de regressão ..... 83

**Figura 15** - Firmeza da polpa (FP) de mangas ‘Palmer’ determinada com métodos de referência e preditos com o uso dos espectrômetros: a) F-750, b) Scio, c) Telspec e d) FieldSpec 3. Modelos desenvolvidos por calibração multivariada (regressão por PLS). Dados de calibração (círculos pretos) e dados de validação cruzada (círculos cinzas). As linhas sólidas representam as retas de regressão ..... 84

**Figura 16** - Sólidos solúveis (SS) de mangas ‘Palmer’ determinados com métodos de referência e preditos com o uso dos espectrômetros: a) F-750, b) Scio, c) Telspec e d) FieldSpec 3. Modelos desenvolvidos por calibração multivariada (regressão por PLS). Dados de calibração (círculos pretos) e dados de validação cruzada (círculos cinzas). As linhas sólidas representam as retas de regressão ..... 85

**Figura 17** - Acidez titulável (AT) de mangas ‘Palmer’ determinada com métodos de referência e preditos com o uso dos espectrômetros: a) F-750, b) Scio, c) Telspec e d) FieldSpec 3. Modelos desenvolvidos por calibração multivariada (regressão por PLS). Dados de calibração (círculos pretos) e dados de validação cruzada (círculos cinzas). As linhas sólidas representam as retas de regressão. .... 86

<b>Figura 18</b> - Matéria seca (MS) de mangas ‘Palmer’ determinada com métodos de referência e preditos com o uso dos espectrômetros: a) F-750, b) Scio, c) Telspec e d) FieldSpec 3. Modelos desenvolvidos por calibração multivariada (regressão por PLS). Dados de calibração (círculos pretos) e dados de validação cruzada (círculos cinzas). As linhas sólidas representam as retas de regressão. ....	87
<b>Figura 19</b> – Espectros de absorbância (sem pré-processamentos) provenientes de mangas ‘Palmer’ registrados utilizando o espectrômetro F-750. A seta preta indica a banda de absorção de água localizada aproximadamente em 970 nm. ....	92
<b>Figura 20</b> – Sólidos solúveis de mangas ‘Palmer’ maduras (firmeza de polpa $\leq 1,53$ Kg) determinados com método de referência e preditos com o uso do espectrômetro F-750.....	94
<b>Figura 21</b> - Croqui da área experimental de mangas ‘Palmer’. ....	113
<b>Figura 22</b> – Colheita (A), preparo das amostras para análises espectrais e físico-químicas (B) e armazenamento de mangas ‘Palmer’ utilizadas no experimento (C) .....	114
<b>Figura 23</b> - TDR 100 (A) utilizado para determinação da umidade do solo durante a condução do experimento (B). ....	117
<b>Figura 24</b> - Umidade relativa do solo (0-0,4 m) e precipitação durante a condução do experimento com mangas ‘Palmer’ produzidas no Vale do São Francisco sob diferentes semanas de restrição hídrica (SRH).....	118
<b>Figura 25</b> – Análises físico-químicas de mangas ‘Palmer’ produzidas no Vale do São Francisco sob diferentes semanas de restrição hídrica (SRH) antes da colheita....	126
<b>Figura 26</b> – Espectros de absorbância brutos (sem pré-processamentos) (A) e pré-processados por SNV (B) provenientes de 160 amostras de mangas ‘Palmer’, registrados utilizando o espectrômetro F-750. ....	127
<b>Figura 27</b> – Matéria seca de mangas ‘Palmer’ determinada com método de referência e preditos com o uso do espectrômetro F-750. Modelo desenvolvido por calibração multivariada (regressão por PLS). Dados de calibração (círculos pretos) e dados de validação cruzada (círculos cinzas). As linhas sólidas representam as retas de regressão. ....	128
<b>Figura 28</b> – Validação externa do modelo de MS construído para mangas ‘Palmer’ submetidas a diferentes semanas de restrição hídrica. . ....	129

<b>Figura 29</b> - Matéria seca predita em mangas ‘Palmer’ submetidas a diferentes semanas de restrição hídrica (SRH). .....	130
<b>Figura 30</b> – Teor de sólidos solúveis após o amadurecimento em mangas ‘Palmer’ produzidas no Vale do São Francisco sob diferentes semanas de restrição hídrica (SRH) antes da colheita. ....	131
<b>Figura 31</b> – Correlação entre MS predita através do espectrômetro F-750 no momento da colheita e teor de SS de mangas ‘Palmer’ maduras submetidas diferentes semanas de restrição hídrica (SRH) antes da colheita. ....	133

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Área colhida, produção e rendimento de mangas no Brasil em 2021.....	24
<b>Tabela 2</b> - Composição nutricional da manga <i>in natura</i> (valor por 100g de polpa). ..	27
<b>Tabela 3</b> - Avaliação da qualidade interna de frutas através de espectroscopia Vis-NIR. ....	40
<b>Tabela 4</b> - Parâmetros estatísticos relacionados aos dados de referência para mangas ‘Palmer’ produzidas no Vale do São Francisco. ....	64
<b>Tabela 5</b> - Parâmetros dos modelos de calibração multivariadas desenvolvidos por regressão PLS para a determinação de luminosidade da polpa (L) de mangas ‘Palmer’, utilizando os espectrômetros F-750, Scio, Tellspec e FieldSpec 3.....	74
<b>Tabela 6</b> - Parâmetros dos modelos de calibração multivariadas desenvolvidos por regressão PLS para a determinação de cromaticidade da polpa (C) de mangas ‘Palmer’, utilizando os espectrômetros F-750, Scio, Tellspec e FieldSpec 3.....	75
<b>Tabela 7</b> - Parâmetros dos modelos de calibração multivariadas desenvolvidos por regressão PLS para a determinação de ângulo <i>hue</i> da polpa (h) de mangas ‘Palmer’, utilizando os espectrômetros F-750, Scio, Tellspec e FieldSpec 3.....	76
<b>Tabela 8</b> - Parâmetros dos modelos de calibração multivariadas desenvolvidos por regressão PLS para a determinação de firmeza da polpa (FP) de mangas ‘Palmer’, utilizando os espectrômetros F-750, Scio, Tellspec e FieldSpec 3.....	77
<b>Tabela 9</b> - Parâmetros dos modelos de calibração multivariadas desenvolvidos por regressão PLS para a determinação de sólidos solúveis (SS) de mangas ‘Palmer’, utilizando os espectrômetros F-750, Scio, Tellspec e FieldSpec 3.....	78
<b>Tabela 10</b> - Parâmetros dos modelos de calibração multivariadas desenvolvidos por regressão PLS para a determinação de acidez titulável (AT) de mangas ‘Palmer’, utilizando os espectrômetros F-750, Scio, Tellspec e FieldSpec 3.....	79
<b>Tabela 11</b> - Parâmetros dos modelos de calibração multivariadas desenvolvidos por regressão PLS para a determinação de matéria seca (MS) de mangas ‘Palmer’, utilizando os espectrômetros F-750, Scio, Tellspec e FieldSpec 3.....	80

<b>Tabela 12</b> - Comparação de desempenho dos modelos preditivos (Valores de $R^2_{cal}$ e $R^2_{vc}$ entre parênteses) de parâmetros de qualidade em mangas em diferentes equipamentos relatados na literatura e neste trabalho.....	91
<b>Tabela 13</b> - Parâmetros estatísticos relacionados aos dados de SS e MS em mangas 'Palmer' após o amadurecimento (firmeza de polpa $\leq 1,53$ Kg).....	93
<b>Tabela 14</b> - Parâmetros do modelo de calibração multivariada desenvolvido por regressão PLS para a determinação de sólidos solúveis (SS) em mangas 'Palmer' maduras, utilizando os espectros aferidos pelo dispositivo F-750 na colheita. ....	95
<b>Tabela 15</b> – Correlações entre MS determinada de forma não destrutiva em frutas na maturação fisiológica de colheita (MSpred%) e MS (MSm%) e SS (SSm%) determinados de forma destrutiva em mangas 'Palmer' após o amadurecimento. ....	96
<b>Tabela 16</b> – Atributos físicos e químicos do solo da área experimental (0 – 30 cm de profundidade) onde foi conduzido o experimento de restrição hídrica para aumento de matéria seca em mangas 'Palmer' cultivadas no Vale do São Francisco.....	111
<b>Tabela 17</b> – Análises físico-químicas de mangas 'Palmer' produzidas no Vale do São Francisco sob diferentes semanas de restrição hídrica (SRH) antes da colheita....	125
<b>Tabela 18</b> - Parâmetros do modelo de calibração multivariada desenvolvido por regressão PLS para a determinação de matéria seca (MS) em mangas 'Palmer', utilizando o espectrômetro F-750.....	128

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AT	Acidez titulável
CP	Cor da polpa
CV	Coefficiente de variação
FP	Firmeza da polpa
MS	Matéria seca
NIR	Infravermelho próximo ( <i>Near Infrared</i> )
OSC	Correção de Sinal Ortogonal ( <i>Orthogonal Signal Correction</i> )
PF	Peso das frutas
PLSR	Regressão de Mínimos Quadrados Parciais ( <i>Partial Least Squares Regression</i> )
$R^2$	Coefficiente de determinação
$R^2_{cal}$	Coefficiente de determinação da etapa de calibração
$R^2_P$	Coefficiente de determinação da etapa de predição (validação externa)
$R^2_{vc}$	Coefficiente de determinação da etapa de validação cruzada
RMSECV	Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático de Validação Cruzada ( <i>Root Mean Square Error of Cross Validation</i> )
RMSECVr	Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático de Validação Cruzada Relativo ( <i>relative Root Mean Square Error of Cross Validation</i> )
RMSEP	Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático de Predição ( <i>Root Mean Square Error of Prediction</i> )
RMSEPr	Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático de Predição relativo ( <i>relative Root Mean Square Error of Prediction</i> )
SEP	Erro quadrático de previsão ( <i>Square Error of Prediction</i> )
SNV	Varição Normal Padrão ( <i>Standard Normal Variate</i> )
SRH	Semanas de restrição hídrica antes da colheita
SS	Sólidos solúveis
SS/AT	Relação sólidos solúveis por acidez titulável ( <i>ratio</i> )
Vis-NIR	Visível ao Infravermelho próximo

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>19</b>
2.1	OBJETIVO GERAL .....	19
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	19
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO 1: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>20</b>
3.1	MANGICULTURA .....	20
<b>3.1.1</b>	<b>Importância socioeconômica .....</b>	<b>23</b>
3.2	IMPORTÂNCIA NUTRICIONAL E CARACTERÍSTICAS DA FRUTA .....	26
<b>3.2.1</b>	<b>Cultivar Palmer .....</b>	<b>29</b>
3.3	QUALIDADE DE CONSUMO .....	30
3.4	ESPECTROSCOPIA NA REGIÃO DO VISÍVEL E INFRAVERMELHO PRÓXIMO (VIS-NIR) PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE FRUTAS .....	35
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>42</b>
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO 2: AVALIAÇÃO E RECOMENDAÇÃO DE ESPECTRÔMETROS VIS-NIR PORTÁTEIS PARA DETERMINAÇÃO DA QUALIDADE NA COLHEITA E PREDIÇÃO DA QUALIDADE DE CONSUMO EM MANGAS ‘PALMER’.....</b>	<b>52</b>
4.1	INTRODUÇÃO .....	54
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	56
<b>4.2.1</b>	<b>Experimento 1: Análise comparativa de espectrômetros Vis-NIR portáteis para a determinação de parâmetros de qualidade em mangas ‘Palmer’ no momento da colheita .....</b>	<b>56</b>
4.2.1.1	Obtenção de amostras de mangas ‘Palmer’.....	56
4.2.1.2	Análises não destrutivas.....	57
4.2.1.3	Análises destrutivas.....	59
4.2.1.4	Desenvolvimento dos modelos.....	60

<b>4.2.2</b>	<b>Experimento 2: Desenvolvimento de modelos para a previsão de qualidade de consumo de mangas ‘Palmer’ a partir da qualidade de colheita</b> .....	61
4.2.2.1	Avaliação não destrutiva da qualidade de mangas ‘Palmer’ no estágio de maturação fisiológica .....	61
4.2.2.2	Armazenamento das frutas e análises de referência .....	62
4.2.2.3	Desenvolvimento do modelo de predição de sólidos solúveis em frutas maduras a partir dos espectros aferidos na colheita .....	62
4.2.2.4	Predição da qualidade de consumo .....	63
4.3	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	63
<b>4.3.1</b>	<b>Experimento 1: Análise comparativa de espectrômetros Vis-NIR portáteis para a determinação de parâmetros de qualidade em mangas ‘Palmer’ no momento da colheita</b> .....	63
4.3.1.1	Análises de referência .....	63
4.3.1.2	Identificação de bandas espectrais .....	64
4.3.1.3	Desenvolvimento dos modelos de calibração multivariada .....	68
4.3.1.4	Comparação e recomendação do espectrômetro Vis-NIR de melhor desempenho para mangas ‘Palmer’ .....	88
<b>4.3.2</b>	<b>Experimento 2: Desenvolvimento de modelos para a previsão de qualidade de consumo de mangas ‘Palmer’ a partir da qualidade de colheita</b> .....	92
4.3.2.1	Identificação de assinaturas espectrais .....	92
4.3.2.2	Análise de SS e MS nas frutas após o amadurecimento .....	92
4.3.2.3	Desenvolvimento de modelo preditivo para o teor de SS das frutas após o amadurecimento .....	93
4.3.2.4	Correlações entre os teores de matéria seca determinados de forma não destrutiva em mangas na colheita e o teor de sólidos solúveis e matéria seca determinados de forma destrutiva nas frutas maduras; e matéria seca destrutiva com o teor de sólidos solúveis em frutas maduras .....	95
4.4	<b>CONCLUSÕES</b> .....	99
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>100</b>

<b>5</b>	<b>CAPÍTULO 3: USO DE RESTRIÇÃO HÍDRICA PARA AUMENTO NO TEOR DE MATÉRIA SECA E QUALIDADE DE CONSUMO EM MANGAS ‘PALMER’ PRODUZIDAS NO VALE DO SÃO FRANCISCO</b> .....	<b>107</b>
5.1	INTRODUÇÃO .....	109
5.2	MATERIAL E MÉTODOS .....	110
5.2.1	Obtenção de mangas ‘Palmer’ .....	110
5.2.2	Tratamentos .....	112
5.2.3	Análises físico-químicas na colheita e construção de modelo para a determinação não destrutiva dos teores de MS .....	114
5.2.4	Determinação do teor de MS em mangas de forma não destrutiva na colheita .....	116
5.2.5	Umidade do solo e dados pluviométricos .....	116
5.2.6	Análises dos dados .....	117
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	117
5.3.1	Umidade do solo e precipitação .....	117
5.3.2	Avaliação de parâmetros físico-químicos de mangas ‘Palmer’ no momento da colheita .....	119
5.3.3	Construção do modelo de MS .....	127
5.3.4	Avaliação de SS de mangas ‘Palmer’ após o amadurecimento .....	131
5.3.5	Relação entre MS predita na colheita e SS nas frutas após o amadurecimento .....	132
5.4	CONCLUSÕES .....	134
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>135</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O Submédio do Vale do São Francisco é uma importante região do semiárido brasileiro, onde a dinâmica econômica local é promovida pela fruticultura irrigada, formando importantes arranjos produtivos e inovativos. Na região, a manga (*Mangifera indica* L.) é uma fruta altamente importante para a economia, ganhando uma maior projeção a partir dos anos 1990, sendo o seu cultivo e exportação atividades econômicas indutoras de desenvolvimento socioeconômico (Leão; Moutinho; Campos, 2016). A fruta é bastante conhecida devido às suas propriedades nutricionais e sabor delicioso. No entanto, é excepcionalmente perecível devido à sua natureza climática, o que diminui a qualidade e a vida útil. Desse modo, preservar a qualidade das frutas e evitar perdas pós-colheita é uma das soluções críticas para sustentar as demandas alimentares humanas (Bambalele et al., 2021).

Muitos atributos de qualidade de frutas que afetam a aceitação do consumidor ainda são avaliados com análises subjetivas e demoradas, o que vem impulsionando o desenvolvimento de métodos para medir os atributos internos e externos das frutas de forma rápida e não destrutiva. Pesquisadores de todo o mundo têm investigado o potencial de várias tecnologias para a avaliação da qualidade das frutas, sendo as técnicas espectroscópicas uma das mais relevantes e promissoras devido às suas vantagens, como: (1) permitir a obtenção de informações sobre parâmetros de qualidade interna das frutas sem danificar suas superfícies; (2) os processos de medição são simples e rápidos; e (3) permitem a detecção de vários atributos internos da fruta simultaneamente (Wang et al., 2015).

A espectroscopia Vis-NIR é uma das técnicas de sensoriamento mais populares para extrair parâmetros internos de qualidade de frutas usando os espectros na região visível (400–700 nm) e infravermelho próximo (700–2500 nm) (Srivastava; Sadistap, 2018a). Nessas faixas espectrais são incorporadas abundantes informações sobre as absorções de vibração de ligações O-H, C-H e N-H, que compõem muitas substâncias presentes nas frutas e hortaliças, e que, através de métodos quimiométricos para extração de informações dos dados espectrais, permite a quantificação de diversos parâmetros de qualidade em mangas, tais como: sólidos solúveis (SS), matéria seca (MS), acidez titulável (AT), cor da polpa (CP), firmeza da polpa (FP), vitamina C, amido, carotenoides e índices de maturação (Saranwong; Sornsrivichai; Kawano,

2003; Saranwong; Sornsrivichai; Kawano, 2004; Valente et al., 2009; Marques et al., 2016; Rungpichayapichet et al., 2023).

Em mangas, estudos demonstraram que a qualidade de consumo da fruta madura pode ser predita na colheita a partir do teor de MS das frutas, que é altamente correlacionado ao teor de SS das frutas após o amadurecimento, interferindo diretamente na aceitação pelos consumidores. Dessa forma, mangas que apresentem quantidades suficientes de MS acumulada, apresentarão maiores teores de SS após o amadurecimento (Saranwong; Sornsrivichai; Kawano, 2004; Subedi; Walsh; Owens, 2007; Freitas et al., 2022). O teor de MS em mangas (e conseqüentemente a qualidade de consumo) pode ser manipulado através de algumas práticas como a restrição de água poucos dias após o florescimento pleno ou em períodos curtos antes da colheita (Léchaudel et al., 2005; Anderson; Subedi; Walsh, 2017), caracterizando uma prática promissora para o Vale do São Francisco.

Neste contexto, o presente trabalho aborda inicialmente (Capítulo 2) uma análise comparativa e seleção de espectrômetros Vis-NIR para avaliação de características físico-químicas de mangas 'Palmer'. Neste estudo, avaliou-se também a possibilidade de predição da qualidade de consumo das frutas maduras a partir de parâmetros avaliados na colheita. Em um segundo momento (Capítulo 3), foi apresentado um estudo sobre a influência da restrição hídrica nas características físico-químicas e como método para aumento do teor de MS e qualidade de consumo em mangas 'Palmer'; e construção de um modelo de MS não destrutivo e predição da qualidade de consumo das frutas submetidas à restrição hídrica.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

- Avaliar o desempenho de diferentes espectrômetros Vis-NIR portáteis para determinação de parâmetros de qualidade de mangas 'Palmer' no momento da colheita; e predição da qualidade de consumo das frutas maduras a partir de sua qualidade de colheita.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver modelos de predição para as características físicas e físico-químicas em mangas 'Palmer', utilizando diferentes espectrômetros Vis-NIR portáteis no momento da colheita;
- Selecionar o espectrômetro Vis-NIR portátil de melhor desempenho para determinação de parâmetros de qualidade de mangas 'Palmer';
- Utilizar o espectrômetro selecionado para determinar no momento da colheita os teores de MS nas frutas, visando predizer a qualidade de consumo de mangas 'Palmer' maduras;
- Desenvolver e validar um modelo de predição de MS para mangas 'Palmer' submetidas ao estresse hídrico como método para aumento dos teores de matéria seca e qualidade de consumo.

### 3 CAPÍTULO 1: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 MANGICULTURA

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de frutas, depois da China e Índia, apresentando produção de frutas em torno de 59 milhões de toneladas (Faostat, 2021; Anuário Brasileiro de Horti & Fruti, 2023). Neste cenário, a fruticultura ocupa uma posição de destaque no Brasil, com o país ocupando a sexta posição na produção mundial de mangas, goiabas e mangostões, totalizando mais de 2,05 milhões de toneladas produzidas dessas frutas, ficando atrás de outros países como a Índia, China, Indonésia, Paquistão e México (Faostat, 2021).

A mangueira (*Mangifera indica* L.) é uma espécie frutífera de clima tropical bastante difundida no Brasil pertencente à família Anacardiaceae (Silva-Luz et al., 2023). Esta família engloba cerca de 800 espécies e mais de 80 gêneros em todo o mundo, com a maior diversidade ocorrendo em regiões tropicais (Mitchell et al., 2022). O gênero *Mangifera* é originário da Ásia tropical, com o maior número de espécies encontradas em Bornéu, Java, Sumatra e na Península da Malásia, contendo diversas espécies que produzem frutas comestíveis, dentre os quais se destacam as frutas produzidas pela espécie *M. indica*, que é nativa do sul da Ásia, especialmente do leste da Índia, Birmânia e ilhas Andaman, sendo cultivada há mais de 4000 anos (Derese et al., 2017).

A dispersão da manga no mundo foi iniciada após a abertura das rotas comerciais marítimas entre a Europa e a Ásia estabelecidas pelos portugueses no século XVI. Inicialmente, *M. indica* foi introduzida na África Ocidental e no Brasil no início do século XVI, depois foi transportada para as Índias ocidentais, e por fim, no início do século XIX foi introduzida no México e posteriormente nos Estados Unidos (Morton, 1987; Cunha et al., 1994). Atualmente, a espécie é cultivada majoritariamente em regiões tropicais e subtropicais para a produção comercial de frutas, como árvore de jardim e como árvore fornecedora de sombra (Derese et al., 2017).

As mangas são muito consumidas devido ao seu sabor delicioso, aroma agradável e por ser uma fonte rica em nutrientes e fitoquímicos, como vitamina C, vitamina E,  $\beta$ -caroteno, luteína, quercetina, mangiferina e ácidos graxos poli-insaturados (ômega 3 e 6), além de polifenóis, que contribuem para propriedades antioxidantes, nutricionais, antimicrobianas e outras promotoras da saúde que tornam

o consumo de mangas e seus produtos derivados um hábito saudável (Sivakumar; Jiang; Yahia, 2011; Chidozie et al., 2014; Gentile et al., 2019; Ntsoane et al., 2019).

A mangueira é capaz de tolerar várias condições climáticas, desde ambientes pantanosos até ambientes muito quentes e/ou muito úmidos (Derese et al., 2017). No entanto, maior excelência na produção ocorre em regiões com temperaturas mais amenas (que não sejam inferiores a 15° C ou superiores a 30° C) e onde o período seco ocorra antes do florescimento de modo que propicie à planta um período de repouso vegetativo que se prolongue até a frutificação, para evitar os danos causados por doenças como antracnose e oídio (Cunha et al., 1994; Fonseca et al., 2006; Pinto; Silva; Pinto, 2007).

Após a frutificação, é benéfica a ocorrência de chuva para que ocorra o estímulo ao desenvolvimento das frutas e diminuição da ocorrência de queda. Na região semiárida brasileira, as chuvas deixam de ser relevantes devido à irrigação, que possibilita que o plantio da mangueira seja feito em qualquer época do ano (Fonseca et al., 2006). O crescimento vegetativo da mangueira é essencial para propiciar uma produtividade elevada, sendo que o seu período de juvenilidade dura em torno de 3 anos. Algumas práticas culturais, como a aplicação de determinados fitorreguladores e manejos nutricionais são amplamente empregados para que ocorra a indução ao florescimento da mangueira em pomares comerciais (Lima Neto, 2021).

A mangueira é uma árvore perene frondosa de porte médio a alto, podendo atingir alturas de 15 a 30 m quando são selvagens e não cultivadas. A maioria das mangueiras cultivadas tem entre 3 e 10 m de altura quando totalmente maduras, dependendo da variedade e da intensidade de poda (Bally, 2006). Nos plantios modernos, o porte e formato da planta é determinado pela densidade de plantio e tratos culturais, principalmente pelo sistema de poda utilizado, que tem a finalidade de manter a altura da planta estável, sendo a faixa mais comum entre 3 a 5 m de altura para facilitar o manejo e a colheita das frutas (Bally, 2006; Fonseca et al., 2006; Lima Neto, 2021).

As folhas são lanceoladas e dispostas em ramos espirais, com as lâminas foliares em sua maioria com cerca de 25 cm de comprimento e 8 cm de largura, apresentando coloração do castanho claro ao roxo profundo durante a sua formação e coloração verde-escura na maturidade com a superfície adaxial brilhante e a superfície abaxial glabra verde mais clara (Bally, 2006; Shah et al., 2010).

As flores da mangueira são muito pequenas, medindo de 5 -10 mm e nascem em panículas cônicas terminais ou laterais que podem atingir até 60 cm de comprimento, dependendo da variedade. As panículas são constituídas tanto por flores masculinas como por flores hermafroditas e o número de flores é extremamente variável, podendo ir de centenas até milhares. Nas flores hermafroditas, o ovário é súpero e unilocular e o estigma é rudimentar, enquanto que as flores masculinas são semelhantes às flores hermafroditas, mas não possuem o pistilo, que foi abortado. O florescimento da mangueira é dependente de uma combinação de fatores climáticos e nutricionais, sendo normalmente favorecido por uma associação entre uma diminuição na temperatura e um estresse hídrico (Bally, 2006; Lima Neto, 2021).

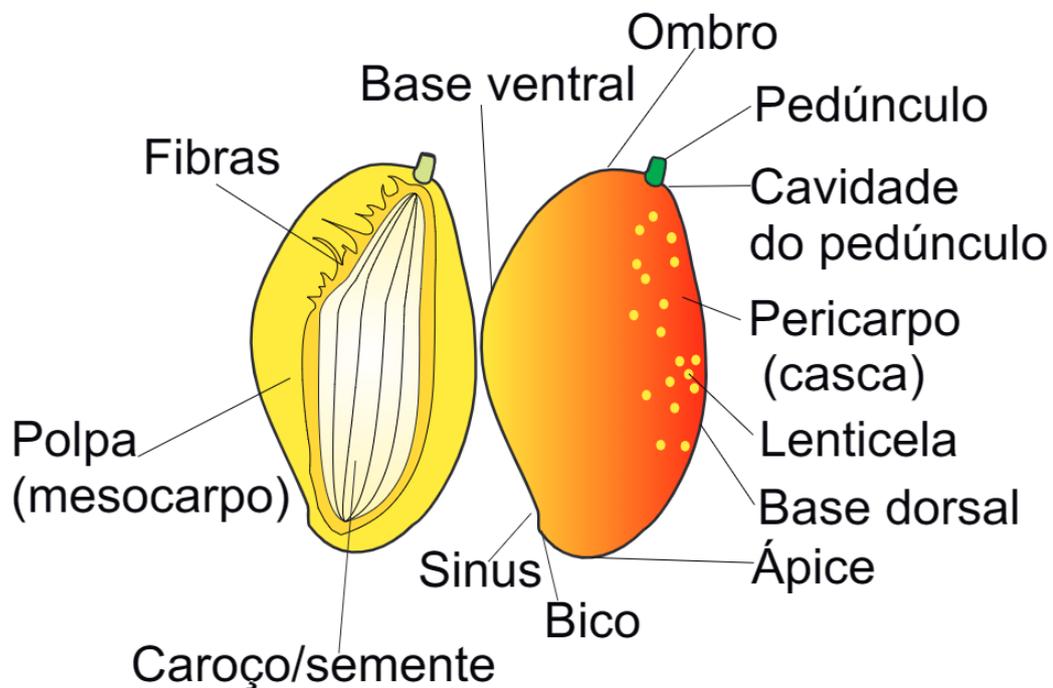
A fruta da mangueira (Figura 1) desenvolve-se geralmente no período de 100 a 150 dias (da floração à maturidade), sendo uma drupa carnosa com uma única semente encerrada em um endocarpo coriáceo e bastante variável em termos de tamanho, peso, forma, cor, fibrosidade e sabor (Cunha et al., 1994). Os formatos das frutas variam em redondos, ovais, oblongos e longos e podem pesar mais de 2 kg, dependendo da variedade. A cor da casca pode variar em verde, amarela ou vermelha, enquanto a polpa da fruta quando madura apresenta coloração variando do amarelo ao laranja e textura lisa a fibrosa (Bally, 2006; Shah et al., 2010; Lima Neto, 2021).

A manga pertence à categoria de frutas climatéricas e seu amadurecimento é iniciado por uma explosão na produção autocatalítica de etileno que marca a transição entre o processo de amadurecimento e senescência, sendo esse processo seguido por um subsequente aumento expressivo na taxa de respiração (Chitarra; Chitarra, 2005; Singh et al., 2013).

O amadurecimento da manga é caracterizado por alterações em vários constituintes bioquímicos, tais como diminuição do teor de amido, celulose, hemicelulose e pectinas; aumento no teor de açúcares solúveis totais, sólidos solúveis e pH; diminuição da acidez titulável, além de mudanças de coloração da casca e polpa. Como resultado desses processos, ocorre um amolecimento textural gradual das frutas, que é correlacionado positivamente com o aumento da atividade de várias enzimas que degradam carboidratos, indicando gliconeogênese ativa durante o amadurecimento (Yashoda; Prabha; Tharanathan, 2005; Yashoda; Prabha; Tharanathan, 2006; Rastegar; Rahimzadeh, 2023).

Embora existam centenas de cultivares de manga produzidas no subcontinente indiano e em outras partes do mundo, as cultivares mais populares são geralmente mais perecíveis podendo amadurecer na planta ou fora dela, se colhidas na maturação fisiológica, amadurecendo entre 7 a 9 dias após a colheita, em temperatura ambiente. Diante disso, o desenvolvimento de tecnologias para melhorar o armazenamento e a embalagem se torna cada vez mais necessário de modo a superar as limitações encontradas durante o armazenamento e o transporte da manga (Chitarra; Chitarra, 2005; Singh et al., 2013).

**Figura 1** - Morfologia da manga.



Fonte: Borges Filho, 2023.

### 3.1.1 Importância socioeconômica

O Brasil, devido à sua aptidão edafoclimática para o cultivo de centenas de espécies de frutas e hortaliças, é um dos mais eficientes fornecedores de tais alimentos para a mesa da população brasileira, assim como para as necessidades nutricionais de pessoas em todas as nações do planeta (Anuário Brasileiro de Horti & Fruti, 2023). A manga é uma fruta de elevada importância econômica no Brasil, sobretudo na região Nordeste, a qual concentra cerca de 80,37% da produção nacional de mangas, com cerca de 1,20 milhões de toneladas produzidas em mais de

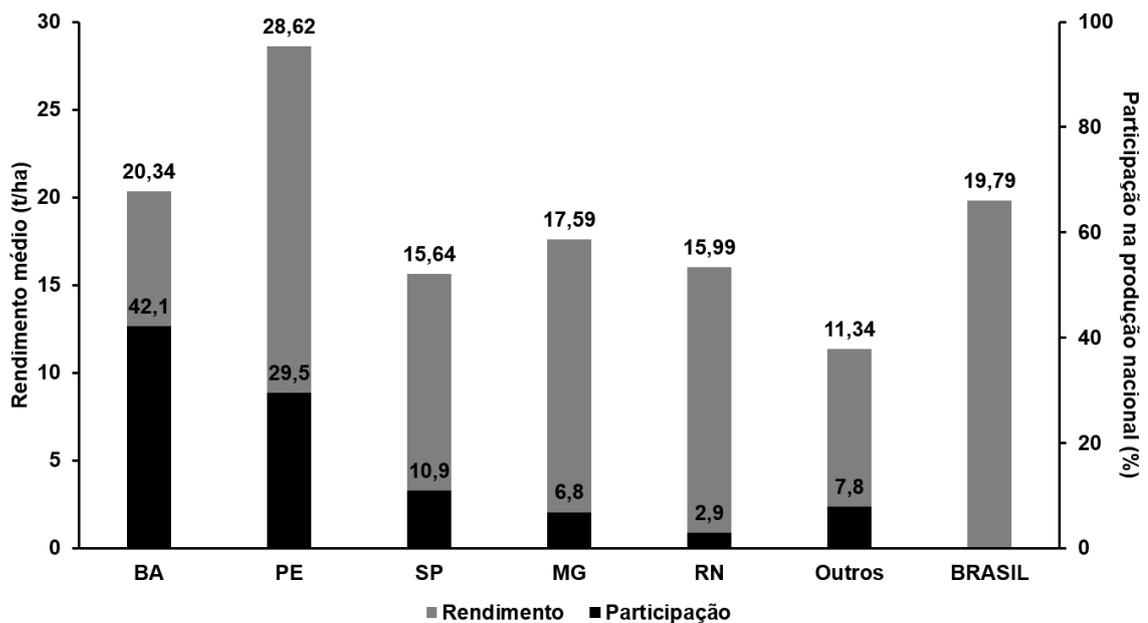
57,3 mil hectares, o que equivale a um rendimento médio de 21,08 t/ha (Tabela 1), com destaque para o submédio do vale do São Francisco, representado pelos estados da Bahia e Pernambuco que registram maior rendimento e participação na produção da fruta (Figura 2), com os municípios de Juazeiro (BA) e Petrolina (PE) sendo os maiores produtores (IBGE, 2021).

**Tabela 1** - Área colhida, produção e rendimento de mangas no Brasil em 2021.

Região	Área colhida (ha)	Produção (t)	Rendimento médio (t/ha)	Participação na produção (%)
Norte	248	2.031	8,19	0,13
Centro-Oeste	316	4.961	15,7	0,33
Sul	518	7.835	15,13	0,52
Sudeste	17.583	280.553	15,96	18,64
Nordeste	57.396	1.209.992	21,08	80,38
<b>BRASIL</b>	<b>76.061</b>	<b>1.505.372</b>	<b>19,79</b>	<b>100</b>

Fonte: IBGE, 2021. Manga: área plantada e quantidade produzida, 2021.

**Figura 2** - Rendimento e participação dos principais estados na produção de mangas no Brasil em 2021.



Fonte: IBGE, 2021.

A produção de mangas tem evoluído nas últimas décadas no país, com o cultivo sendo ampliado indo de pequenos a grandes produtores desde a década de 1970, após substituição do cultivo de mangueiras tipo “comum” por variedades importadas, como ‘Tommy Atkins’, ‘Haden’, ‘Keitt’, ‘Kent’ e ‘Palmer’, que possuem características de alta produtividade, coloração atraente, frutas doces, resistentes ao transporte e pouco fibrosas, promovendo a inserção do Brasil no mercado internacional (Anuário Brasileiro de Horti & Fruti, 2023).

A região Nordeste apresenta clima tropical, com temperaturas elevadas, muita insolação e uma estação chuvosa bem definida, o que possibilita o cultivo e produção de uma grande diversidade de frutas nativas e exóticas praticamente o ano todo, especialmente, o melão, a banana, o abacaxi, a uva e a manga, melhorando a competitividade dos produtores. Dessa forma, o calendário de produção abrangente interessa muito os atacadistas e importadores (Abrafrutas, 2023).

Ao longo dos anos, seguindo as tendências de consumo do mercado mundial de suprimento de frutas frescas, a região Nordeste voltou-se para a produção de mangas de acordo com as normas de controle e segurança instituídas pelas legislações nacional e internacional, incorporando as preocupações dos consumidores com a forma de produção e a exigência de critérios de certificação, levando em consideração o local de produção e os aspectos da ética ambiental e social (Mouco et al., 2010).

A mangicultura na região semiárida destaca-se nos cenários nacional e internacional, não apenas pela expansão da área cultivada e volume de produção, mas principalmente pelos altos rendimentos alcançados e qualidade da manga produzida, sendo que o cultivo de manga na região Nordeste é altamente tecnificado, tornando o Vale do São Francisco o principal polo de produção e exportação da fruta, respondendo por cerca de 87% das exportações (Mouco et al., 2010; Abrafrutas, 2021).

Em 2021, mesmo com o contexto da pandemia da COVID-19, houve um aumento recorde de 12% no volume de mangas exportadas em relação ao ano de 2020 no país, sendo os principais destinos das exportações a Holanda, Espanha e Estados Unidos (Anuário Brasileiro de Horti & Fruti, 2022). Em 2022, a fruta manteve a liderança nas vendas externas do segmento, com 231,36 mil toneladas exportadas principalmente para a União Europeia e Estados Unidos, gerando uma receita de US\$

205,65 milhões e contribuindo de forma significativa para a balança comercial brasileira (Anuário Brasileiro de Horti & Fruti, 2023).

Dessa forma, a cultura da manga possui especial importância econômica e social, uma vez que envolve um grande volume anual de negócios voltados para os mercados internos e externos, e destaca-se entre as culturas irrigadas da região semiárida nordestina como a que, embora não apresente um elevado índice de geração de empregos diretos, quando comparado com outras frutíferas, confere oportunidades de ocupações que se traduzem em empregos indiretos que se manifestam sob forma de prestação de serviços de técnicos, firmas e profissionais especializados vinculados a essas empresas ou prestando serviços por conta própria (Mouco et al., 2010).

### 3.2 IMPORTÂNCIA NUTRICIONAL E CARACTERÍSTICAS DA FRUTA

Uma alimentação adequada e saudável é composta principalmente por alimentos *in natura* ou minimamente processados tais como frutas, hortaliças, tubérculos e raízes, grãos, leguminosas e oleaginosas, presentes em grande variedade no repertório alimentar dos brasileiros (Brasil, 2014).

Assim como as hortaliças, as frutas são alimentos muito saudáveis, sendo excelentes fontes de fibras, vitaminas, minerais e de vários compostos que contribuem para a prevenção de doenças (Brasil, 2014). No entanto, o consumo *per capita* do brasileiro ainda é muito baixo, correspondendo a cerca de 56 kg/pessoa/ano, enquanto na Europa é em torno de 120 kg, o que traz à tona a necessidade de investimentos em planos de comunicação para incentivar maior presença de frutas na dieta dos brasileiros (Anuário Brasileiro de Horti & Fruti, 2023).

O consumo de mangas é atualmente bastante expressivo devido ao seu sabor e valor nutricional (Tabela 2). No Brasil, o consumo de mangas tem apresentado um aumento nos últimos anos de 0,97 para 1,19 kg/pessoa/ano, entre 2008 e 2018 (Anuário Brasileiro de Horti & Fruti, 2023). A fruta é conhecida por ser rica em fibras, aminoácidos, carboidratos, ácidos graxos, minerais, ácidos orgânicos, proteínas, vitaminas e compostos polifenólicos que proporcionam benefícios à saúde humana, incluindo proteção contra doenças cardiovasculares e câncer, o que tem contribuído para um aumento no consumo (Derese et al., 2017).

Em todo o mundo existe mais de 1000 cultivares de manga com cada uma apresentando características distintas, sendo que as preferências pelas variedades de manga diferem frequentemente entre países, regiões, etnias e culinária dos mercados em que são consumidas (Bally, 2006). A qualidade das frutas é medida com base na aparência, textura, aroma, sabor, conteúdo nutricional e composição química, que pode variar de acordo com a cultivar, práticas de manejo, clima, estágio de maturação, condições e tempo de armazenamento (Singh et al., 2013; Gentile et al., 2019).

**Tabela 2** - Composição nutricional da manga *in natura* (valor por 100 g de polpa).

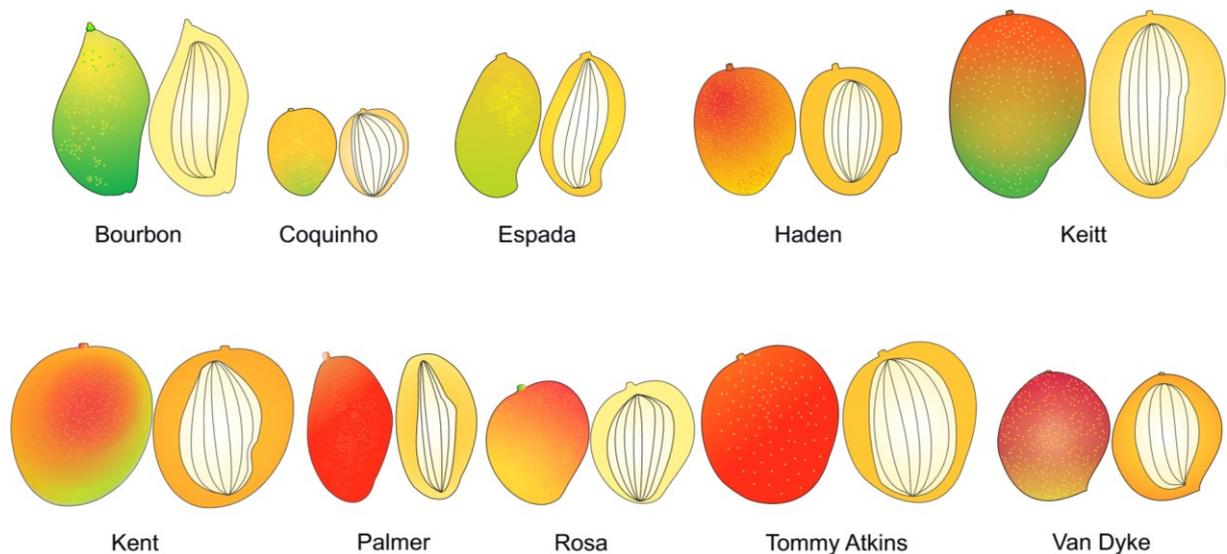
<b>Nutrientes</b>		<b>Minerais</b>	
Energia (kcal)	64	Cálcio (mg)	9,12
Umidade (g)	82,8	Ferro (mg)	0,12
Carboidrato total (g)	16	Sódio (mg)	0,92
Proteína (g)	0,53	Magnésio (mg)	8,72
Lipídios (g)	0,31	Fósforo (mg)	12,4
Fibra alimentar (g)	2,14	Potássio (mg)	170
Vitamina A (mcg)	288	Manganês (mg)	0,15
Vitamina B1 (mg)	0,04	Zinco (mg)	0,09
Vitamina B2 (mg)	0,04	Cobre (mg)	0,08
Vitamina B6 (mg)	0,03	Selênio (mcg)	0,6
Vitamina C (mg)	30,3		
Vitamina E (mg)	0,73		

Fonte: Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TBCA), 2023.

As cultivares de mangas mais produzidas no Brasil e no Vale do São Francisco são Haden, Keitt, Kent, Tommy Atkins, Van Dyke e Palmer. São cultivares originárias da Flórida (EUA) e portadoras de melhor qualidade, com sementes monoembriônicas que resultam em grande variabilidade quando plantadas em pé franco, produzem frutas com pouca fibra, coloridas e resistentes à antracnose, são mais comercializáveis, permitindo ampliar o mercado interno e conquistar o mercado externo (Figura 3) (Ferreira et al., 2002; Costa; Santos, 2004).

As cultivares mais populares geralmente são mais perecíveis, com vida útil inferior a 10 dias após a colheita à temperatura ambiente, o que pode limitar principalmente o transporte das frutas por longas distâncias destinadas à exportação (Singh et al., 2013). Normalmente, as mangas provenientes de países tropicais e direcionadas ao mercado europeu são colhidas em estádios iniciais da maturação fisiológica, na fase verde-madura (frutas duras e verdes), as quais amadurecem progressivamente após a colheita. Esta prática melhora a capacidade de armazenamento e transportabilidade, mas geralmente resulta em frutas sem desenvolvimento completo de cor, aroma e sabor característicos. Por outro lado, as frutas enviadas aos mercados locais, e eventualmente transportadas por via aérea, podem ser colhidas em estádios de maturação mais avançados que resultam em melhor qualidade de consumo (Gentile et al., 2019).

**Figura 3** - Principais cultivares de mangas comercializadas no Brasil e no Vale do São Francisco.



Fonte: Borges Filho, 2023.

Além disso, por ser uma fruta climatérica, estratégias para prolongar a vida útil e manter a qualidade pós-colheita da manga têm focado na redução dos efeitos do etileno através da adoção de atmosfera controlada/modificada e redução de temperatura por refrigeração, o que pode retardar o amadurecimento e prolongar a vida útil por 4 a 6 semanas à temperatura de 8 a 12 °C em 85 a 90% de umidade relativa (Yahia, 2011).

Diante disso, a escolha da cultivar de manga a ser plantada/comercializada deve estar alinhada com as preferências do mercado consumidor, o potencial produtivo para a região, as limitações fitossanitárias e de pós-colheita. De modo geral, as cultivares mais indicadas são as que apresentam alta produtividade, frutas com coloração atraente, polpa doce com teor de sólidos solúveis superior a 17%, pouca ou nenhuma fibra, além da resistência ao manuseio e ao transporte para mercados distantes (Costa; Santos, 2004).

### **3.2.1 Cultivar Palmer**

A manga 'Palmer' é originada de parentais desconhecidos na Flórida (EUA), no ano de 1945. Possui elevado desempenho produtivo, apresentando sementes monoembriônicas e menor vulnerabilidade ao colapso interno em comparação às outras variedades cultivadas em larga escala no Vale do São Francisco, sobretudo à 'Tommy Atkins'. Além disso, a variedade 'Palmer' responde ao manejo da indução floral com paclobutrazol (PBZ) e apresenta produção tardia em relação à 'Tommy Atkins' e à 'Haden', o que pode contribuir para o prolongamento da safra (Costa, 2002; Costa; Santos, 2004; Mouco et al., 2010; Souza et al., 2018).

É uma variedade amplamente aceita no mercado interno para o consumo direto, sendo também aprovada pelas indústrias de processamento para o beneficiamento em mistura com a polpa da manga 'Ubá', quando o volume de produção desta é limitado, o que tem lhe proporcionado um expressivo aumento na área cultivada (Costa et al., 2008).

As frutas são grandes e compridas, podendo pesar até 900 g, bastante aromáticas, com poucas fibras e bastante aceitas em termos de atributos sensoriais (cor, aroma, sabor, textura e aceitação geral). Apresentam coloração esverdeada ou arroxeadada quando imaturas e quando maduras podem apresentar coloração vermelha intensa e de polpa amarelada com teor de sólidos solúveis em torno de 19 a 21%. A relação polpa/fruta pode alcançar até 72% (Morton, 1987; Costa, 2002; Costa; Santos, 2004; Mouco et al., 2010; Reis et al., 2021).

### 3.3 QUALIDADE DE CONSUMO

Os atributos de qualidade de frutas e hortaliças são avaliados com base na aparência, frescor, textura, *flavor* (sabor e aroma), conteúdo nutricional e segurança alimentar (Ntsoane et al., 2019). A qualidade “ótima” de um produto hortícola pode ser considerada como aquela atingida num determinado grau de desenvolvimento em que a combinação de atributos químicos e físicos possibilitam a maior aceitação pelo consumidor (Chitarra; Chitarra, 2005).

O estágio de maturação é um aspecto significativo que influencia na composição das frutas, incluindo fatores nutricionais, uma vez que durante o amadurecimento das frutas ocorrem importantes alterações bioquímicas, fisiológicas e estruturais (Maldonado-Celis et al., 2019).

Durante o desenvolvimento da fruta, a maturação fisiológica inicia ao final do crescimento. Após a maturação fisiológica, onde as frutas usualmente são colhidas, não há mais aumento em seu tamanho, porém ocorre continuidade nos processos fisiológicos e utilização dos substratos acumulados, gerando produtos atrativos e aptos ao consumo humano, fase esta conhecida como amadurecimento (Chitarra; Chitarra, 2005).

Durante os processos de crescimento e desenvolvimento da manga, ocorrem mudanças na composição química, incluindo aumento no teor de sólidos solúveis, mudanças em polissacarídeos estruturais e hidrólise de amido em açúcares, seguido de amaciamento, degradação de cloroplastos e biossíntese de compostos voláteis, cromoplastos e carotenoides (Maldonado-Celis et al., 2019).

O fornecimento de mangas de elevada qualidade no mercado requer um elevado compromisso por parte de todos os interessados envolvidos na produção e no manejo, visto que todos os passos relacionados à mangicultura contribuem para o fornecimento da fruta com boa qualidade e com maior vida útil para os consumidores (National Mango Board, 2011).

Os parâmetros de qualidade da manga mudam quase diariamente e o consumidor não consegue avaliar todos durante a compra. É, portanto, essencial que os principais parâmetros de qualidade sejam correlacionados de tal forma que o tamanho, a forma, a cor ou o aroma revelem a qualidade global da fruta. A aceitação do consumidor é maior para mangas livres de danos externos e deterioração, além de forma, peso e cor uniformes. Os atributos internos de qualidade incluem cor uniforme

e intensa da polpa, ausência de danos e acidez (ou pH), teor de sólidos solúveis adequados, carotenoides, vitaminas e outros oligoelementos e compostos voláteis responsáveis pelo seu aroma, dependendo da cultivar e do tipo de preferências do consumidor (Jha et al., 2010; Sivakumar; Jiang; Yahia, 2011).

Práticas de produção e pós-colheita, novas tecnologias e manejo da cadeia de frio têm grande impacto na manutenção da qualidade pós-colheita de mangas. As perdas pós-colheita da manga ainda são muito significativas, ocorrendo principalmente devido à colheita de frutas em maturação inadequada, danos mecânicos causados durante a colheita ou manejo inadequado no campo, injúria por frio, distúrbios fisiológicos, danos causados por doenças e pragas, entre outros (Sivakumar; Jiang; Yahia, 2011; Le et al., 2022).

À medida que a manga atinge a maturação fisiológica e inicia o amadurecimento na planta, a qualidade de consumo aumenta, mas a vida útil diminui devido à dificuldade de controlar as mudanças físico-químicas que levam ao processo final do desenvolvimento, a senescência (Yahia, 2011). Dessa forma, as mangas geralmente são colhidas em estádios iniciais da maturação fisiológica, pois a colheita neste momento do desenvolvimento garante um equilíbrio adequado entre qualidade de consumo e tempo necessário para o transporte e comercialização das frutas em mercados distantes. Neste estágio, as frutas já devem ter iniciado a mudança de coloração de polpa de branca para amarela/laranja próxima ao caroço. Uma manga colhida antes da maturação fisiológica não amadurecerá adequadamente e nunca desenvolverá sabor e aroma aceitáveis. Portanto, índices de maturação adequados para a colheita são muito importantes para minimizar as perdas qualitativas e quantitativas, bem como garantir a alta aceitação das frutas pelos consumidores (Jha et al., 2010; National Mango Board, 2011; Yahia, 2011).

Várias alterações metabólicas importantes ocorrem durante a maturação e amadurecimento das mangas, e algumas delas são úteis como índices de maturação e qualidade (Yahia, 2011). As alterações de açúcar são muito importantes para os atributos organolépticos da manga, visto que o sabor da fruta está intimamente relacionado aos açúcares e também aos ácidos. O teor de amido aumenta durante o desenvolvimento da manga na planta, porém é quase completamente hidrolisado em açúcares simples durante o processo de amadurecimento. O principal açúcar solúvel na polpa da manga é a sacarose, que predomina sobre a frutose e a glicose no estágio máximo de amadurecimento. O ácido cítrico é o ácido orgânico predominante na

manga verde e diminui acentuadamente durante a maturação e amadurecimento, enquanto o teor de sólidos solúveis tende a aumentar durante esses processos (Tian et al., 2010; Yahia, 2011; Singh et al., 2013).

Os sólidos solúveis são constituídos em maior parte por açúcares no suco da fruta, e dessa forma, podem ser usados como uma estimativa do teor de açúcar da fruta. No entanto, ácidos orgânicos, aminoácidos, compostos fenólicos e pectinas solúveis também contribuem para o teor de sólidos solúveis, além de amido suspenso no suco de mangas imaturas, o que pode resultar em leituras erroneamente altas (National Mango Board, 2011).

Além disso, os sólidos solúveis em mangas no ponto de colheita são altamente influenciados pelo cronograma de irrigação e pelas chuvas. Mangas colhidas em campos sendo irrigados ou sob condições chuvosas tendem a ter um teor de sólidos solúveis menor quando comparadas a mangas em estágio semelhante de maturação colhidas em fazendas onde a irrigação é suspensa antes da colheita. Devido a esses problemas potenciais, o teor de sólidos solúveis provavelmente é um melhor indicador da qualidade de consumo da manga madura do que uma medida de avaliação do ponto de maturação para a colheita (National Mango Board, 2011).

Por outro lado, outros parâmetros podem ser mais indicativos do ponto de maturação para a colheita, como a matéria seca (MS) que é o peso de todos os componentes do tecido, exceto a água, sendo expressa em porcentagem. A manga acumula MS durante o desenvolvimento da fruta e torna-se mais densa à medida em que amadurece (Saranwong; Sornsrivichai; Kawano, 2004; Yahia, 2011). Por exemplo, em mangas 'Keitt', a acumulação de 18 a 29% de MS pode ser usada como um índice confiável de maturação para colheita (National Mango Board, 2011).

A MS pode ser definida como uma medida para o teor total de carboidratos das frutas (amido e açúcares solúveis), além de paredes celulares, ácidos orgânicos, fibras e minerais (Musacchi; Serra, 2018), estando diretamente relacionada à qualidade de consumo de mangas maduras. Durante a maturação, o amido do mesocarpo é convertido em açúcares solúveis que estão relacionados ao sabor da fruta (Subedi; Walsh; Owens, 2007; Anderson; Subedi; Walsh, 2017; Anderson et al., 2020).

A MS e o amido são altamente relacionados com a qualidade de consumo de mangas maduras, e assim, a fruta contendo quantidade suficiente de MS e amido na colheita apresentará elevada qualidade de consumo após o amadurecimento

(Saranwong; Sornsrivichai; Kawano, 2004; Yahia, 2011). Freitas et al. (2022) constataram que mangas 'Palmer' colhidas com no mínimo 13,7 e 14,5% e 'Tommy Atkins' colhidas com 14,4 e 15,3% de matéria seca, no verão e inverno, respectivamente, resultaram em maior teor de sólidos solúveis em frutas maduras, o que consequentemente gerou maior satisfação geral dos consumidores. Dessa forma, é de interesse crescente para os produtores e para a indústria frutícola priorizar o acúmulo de MS como um meio eficaz de alcançar maior qualidade de consumo e estimular a comercialização de mangas produzidas em determinadas regiões (Goke; Serra; Musacchi, 2020).

O acúmulo de MS nas frutas é refletido pela quantidade de carboidratos fornecidos as frutas na planta e depende diretamente da fotossíntese, da demanda dos drenos e da disponibilidade de reservas. Além disso, do ponto de vista da qualidade das frutas, é essencial compreender como os fatores pré-colheita influenciam as relações fonte-dreno envolvidas no crescimento das frutas (Léchaudel; Joas, 2007).

Diante disso, algumas práticas podem ser utilizadas para aumentar o teor de MS em frutas e consequentemente aumentar a qualidade de consumo, através de alterações na fotossíntese ou alocação de água para as frutas. Palmer et al. (2013) demonstraram que o desbaste em macieiras 'Scifresh' para reduzir em 43% a carga da cultura aos 60 ou 90 dias após a floração plena melhorou o teor de MS das frutas. Porém, o sombreamento de 75% nas plantas em diferentes períodos após a floração plena (60 – 90, 90 – 120 ou 60 – 120 dias) resultou em redução dos teores de amido, açúcares apoplásticos e consequentemente na MS das frutas.

Léchaudel et al. (2002) demonstraram efeitos positivos da relação folha:fruta em mangas 'Lirfa', onde a relação de 100 folhas por fruta aumentou o peso das frutas em 300 g e o teor de MS da polpa em 6%. Além disso, também observaram que o teor de MS aumentou à medida que a fruta se desenvolveu e a taxa de acúmulo de água diminuiu quando o peso seco aumentou. Do mesmo modo, Léchaudel, Jannoyer e Génard (2004) demonstraram efeitos positivos da relação folha:fruta (10, 25, 50, 100 e 150 folhas por fruta) sobre o acúmulo de água e MS na casca, polpa e caroço de mangas 'Lirfa'. O maior acúmulo de MS foi observado nas frutas com 100 e 150 folhas por fruta, com relações únicas entre o acúmulo de água e MS em cada componente, possibilitando uma melhor compreensão acerca da evolução do teor de MS em mangas.

Além disso, a sazonalidade das podas pode interferir na qualidade de frutas, como demonstrado em pêras 'd'Anjou', onde a poda de outono impactou positivamente a MS das frutas em comparação com a poda de inverno, bem como na abundância de frutas com MS elevada. Por outro lado, a poda de verão pode impactar negativamente a produtividade e o teor de MS das frutas, revelando a necessidade de direcionar a poda sazonal de modo a preservar a qualidade de consumo das frutas (Goke; Serra; Musacchi, 2020). Outras práticas relacionadas ao ganho de qualidade em frutas são o anelamento de ramos (Khandaker et al., 2011; Lievre et al., 2021; Carrillo et al., 2022), ensacamento das frutas (Feng et al., 2014) e aplicação de fertilizantes (Fernandes, et al., 2023). No entanto, vem sendo reportada na literatura o efeito do estresse hídrico sobre o rendimento e qualidade de diversas espécies frutíferas, inclusive em mangas.

Laribi et al. (2013) constataram que a irrigação deficitária (25% da ETc) em romã 'Mollar de Elche', dependendo do período fenológico em que a escassez hídrica é aplicada (floração e frutificação; crescimento das frutas ou fase final de crescimento e amadurecimento das frutas), pode ser usada como uma prática de campo para controlar o tempo de maturação das frutas, melhorar a composição e o desempenho pós-colheita das frutas. Os resultados mostraram maior teor de sólidos solúveis e coloração mais avermelhada na casca da fruta na colheita e durante o armazenamento refrigerado em romãs sob o tratamento de irrigação deficitária na fase final de crescimento e amadurecimento. Por outro lado, maiores teores de antocianinas no suco foram obtidos em romãs submetidas à irrigação deficitária na fase de crescimento das frutas.

Rahmati et al. (2015) constataram que o aumento da intensidade do déficit hídrico na irrigação (controle – vazão de 8 L.h<sup>-1</sup>; estresse moderado – vazão de 4 L.h<sup>-1</sup> e estresse severo – 2 L.h<sup>-1</sup>) desde a fase de endurecimento do caroço até a colheita em condições semiáridas aumentou o teor de MS e firmeza em pêssegos devido à menor importação de água para as frutas, porém reduziu o tamanho das frutas e a produtividade. Este efeito pode ser explicado pela diminuição da assimilação de carbono e do fluxo de água que entra na fruta, devido à menor condutância estomática e potencial hídrico foliar, respectivamente (Léchaudel; Joas, 2007). De modo geral, o déficit hídrico no início do período de desenvolvimento das frutas pode ocasionar em redução do tamanho das frutas, enquanto o déficit hídrico no período de desenvolvimento tardio aumenta a concentração de reservas (Anderson; Subedi;

Walsh, 2017; Zuazo et al., 2021). De mesmo modo, foi constatado por Lu (2022) que ao utilizar irrigação deficitária (2/5 do tempo da irrigação comercial) em maçãs 'Ambrosia' durante o início do verão resultou em maior acúmulo de MS, melhores atributos de cor, sólidos solúveis e firmeza. Por outro lado, a irrigação deficitária entre o meio e o fim do verão apesar de ter proporcionado maior teor de MS, resultou em frutas com maturação irregular e escaldadura.

Em mangas, foi reportado por Léchaudel et al. (2005) que mangas 'Lirfa' com irrigação totalmente suspensa um mês após a plena floração não houve redução do peso fresco da polpa das frutas, além de que houve aumento no teor de MS da polpa e dos níveis de frutose, indicando que este açúcar solúvel pode ter contribuído para o ajuste osmótico da manga. Em mangas 'Calypso', Anderson; Subedi e Walsh (2017) reportaram que a restrição hídrica pode ser implementada de 2 a 4 semanas antes da colheita para aumentar o teor de MS (17,6% com restrição hídrica; 16,5% no controle) e o teor de sólidos solúveis (14,3% com restrição hídrica; 13,3% no controle) em frutas amadurecidas sem impacto no tamanho das frutas e na taxa de amadurecimento. Considerando que diferentes cultivares apresentam diferentes características fisiológicas, ainda não foi reportado na literatura acerca dos efeitos do estresse hídrico para ganho de MS e qualidade de consumo em mangas 'Palmer'.

### 3.4 ESPECTROSCOPIA NA REGIÃO DO VISÍVEL E INFRAVERMELHO PRÓXIMO (VIS-NIR) PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE FRUTAS

A manutenção da qualidade das frutas após a colheita é o aspecto mais importante em toda a cadeia produtiva da manga. Ela determina a aceitação do consumidor e representa um grande desafio para produtores e indústria (Datir; Regan, 2022). A qualidade alimentar final de mangas depende em grande parte da maturidade das frutas na colheita. A discriminação de frutas de manga maduras e imaturas na colheita é extremamente importante, pois uma fruta de manga imatura nunca atinge todo o seu potencial de qualidade de consumo (Padda et al., 2011).

Muitos indicadores de maturação para a colheita de mangas têm sido testados, incluindo número de dias desde a completa floração, formato da fruta, gravidade específica, cor da casca, cor da polpa, teor de amido, teor de MS, sólidos solúveis e acidez titulável. A mudança no formato da fruta (conformação dos "ombros") e a mudança na cor da casca de verde escuro para verde claro, amarelo ou vermelho são

os índices de maturação mais frequentemente usados em algumas cultivares (National Mango Board, 2011).

No entanto, muitos desses parâmetros são conhecidos por serem potencialmente enganosos ou dependentes de um nível de habilidade que falta em uma força de trabalho informal, além de que alguns parâmetros não podem ser utilizados com sucesso em determinadas cultivares, levando à colheita de frutas em vários estágios de maturação (Subedi; Walsh; Owens, 2007), uma vez que nem todos os parâmetros físico-químicos tradicionalmente utilizados possam estar correlacionados com a qualidade ideal (Datir; Regan, 2022). Por exemplo, mangas 'Palmer' podem apresentar o desenvolvimento da cor vermelha na casca de forma precoce, o que dificulta a utilização deste parâmetro para determinação de quando a fruta deve ser colhida, o que pode resultar na colheita de frutas fisiologicamente imaturas (Vannière; Rey; Vayssières, 2013). Dessa forma, a análise visual das frutas em relação às características externas de qualidade como forma, cor, textura e tamanho ainda é uma tarefa desafiadora, pois requer mão de obra especializada de alto custo, enorme consumo de tempo e uma grande quantidade de trabalho, servindo de base para o desenvolvimento de métodos para a avaliação automática da qualidade (Dhiman; Kumar; Kumar, 2022). Nesse contexto, a espectroscopia na região do visível (Vis) e do infravermelho próximo (NIR) apresenta-se como uma promissora e rápida tecnologia de avaliação não-destrutiva das características internas de mangas, auxiliando na redução da heterogeneidade com que as frutas são oferecidas aos consumidores (Betemps; Fachinello; Galarça, 2011).

A espectroscopia Vis-NIR compreende a radiação na região do visível com comprimentos de onda entre 400 a 780 nm (violeta ao vermelho) e da região do infravermelho próximo com comprimentos de onda entre 780 a 2500 nm (Skoog; Holler; Nieman, 2002). Nos últimos anos, o desenvolvimento de novas tecnologias utilizadas na construção dos espectrômetros Vis-NIR permitiu a redução significativa do tamanho e do custo destes equipamentos, possibilitando o desenvolvimento de aparelhos portáteis que representam uma alternativa atrativa e viável para as agroindústrias e pequenos produtores, já que possuem características de tamanho e desempenho compatíveis com suas necessidades, além de possuírem menores preços quando comparados aos equipamentos de bancada (Marques et al., 2017).

Para empregar a espectroscopia Vis-NIR em rotinas de controle de qualidade o primeiro passo é a aquisição dos dados espectrais das frutas. A coleta dos espectros

Vis-NIR deve ser realizada posicionando o espectrômetro sobre a casca na região equatorial de cada lado da fruta. O equipamento emitirá a radiação Vis-NIR que irá penetrar na casca e polpa da fruta, sendo uma parte da radiação absorvida e outra refletida de volta para o sensor do espectrômetro, o qual registrará a intensidade de absorção da radiação nos diferentes comprimentos de onda, gerando um espectro Vis-NIR que depende das propriedades físicas e da composição química de cada amostra (Marques et al., 2017; Freitas; Marques, 2022).

O espectro Vis-NIR é especialmente interessante, pois está relacionado às vibrações fundamentais de ligações químicas como C – H, O – H e N – H, que estão presentes na maioria das substâncias que constituem as frutas e hortaliças (água, açúcares, clorofilas, carotenoides, etc.), influenciando em muitas propriedades dos alimentos (Alander et al., 2013; Borba; Santos, 2017). Um fóton da radiação Vis-NIR somente pode ser absorvido se tiver a energia certa para excitar um dos estados vibracionais das moléculas das substâncias que constituem as frutas e hortaliças, com cada molécula tendo seu próprio espectro de absorção específico. Devido às ligações químicas dos diferentes compostos que compõe as frutas e hortaliças, são produzidos vários picos de absorção na região Vis-NIR que são amplos e sobrepostos (sobretons) devido às combinações das vibrações fundamentais dos diferentes compostos (Nicolai et al., 2014). A espectroscopia NIR tem a vantagem de que a radiação NIR é altamente penetrante, que aliada com a espectroscopia visível, pode ser aplicada diretamente na amostra, constituindo uma técnica rápida, precisa e sem necessidade de preparo de amostras e reagentes químicos, estando alinhada aos preceitos da química verde. Assim, a técnica possibilita o fornecimento de informações quantitativas sobre os principais componentes orgânicos dos produtos alimentícios, auxiliando no julgamento do tempo ideal de colheita, na otimização de rendimentos e diminuição de perdas no campo (Srivastava; Sadistap, 2018b; Freitas; Marques, 2022).

As frutas e hortaliças apresentam composição físico-química muito complexa, o que significa que os espectros Vis-NIR são difíceis de interpretar. Portanto, técnicas quimiométricas avançadas são necessárias para extrair informações sobre as concentrações dos principais componentes desses espectros (Nicolai et al., 2014). A quimiometria é a utilização de técnicas matemáticas e estatísticas para extrair informações relevantes de dados analíticos, no presente caso, os dados espectrais Vis-NIR. Tanto a quimiometria como a tecnologia Vis-NIR evoluíram numa simbiose,

onde a espectroscopia Vis-NIR alcança modelos de identificação e quantificação mais robustos e alarga a sua aplicabilidade, ao mesmo tempo em que coloca novos desafios à quimiometria que motivam o aperfeiçoamento de muitas das suas técnicas (Pasquini, 2003).

Os espectros obtidos por espectrômetros envolvem quase todos os tipos de informações de moléculas orgânicas. No entanto, estes dados espectrais contêm inevitavelmente informações sobrepostas de muitos produtos químicos orgânicos ou outros componentes no comprimento de onda global. Dessa forma, é necessária a adoção de um conjunto de estratégias de análise para a extração dos dados analíticos relevantes. De modo geral, as seguintes etapas são necessárias para estabelecer um modelo matemático básico: (1) otimizar o conjunto de dados espectrais das amostras através de pré-processamentos; (2) escolher métodos adequados de calibração para obter modelos adequados; e (3) avaliar os efeitos de predição ou repetição dos modelos (Lin; Ying, 2009). Na agroindústria, para monitorar a qualidade físico-química de mangas, a utilização da técnica necessita de um processo prévio de calibração e de validação dos espectrômetros Vis-NIR para cada genótipo e condições de cultivo (Freitas; Marques, 2022), visto que os modelos matemáticos e estatísticos criados podem não ser gerais e necessitar de ajustes para novas condições e produtos (Alander et al., 2013).

Na primeira etapa, o pré-processamento dos dados espectrais são utilizados para otimizar o conjunto de dados, a fim de suavizar, remover erros de leitura/sistema e compactar o conjunto de dados espectrais (Lin; Ying, 2009). A segunda etapa envolve a construção dos modelos de calibração multivariada para as características físico-químicas desejadas. Assim, as várias leituras espectrais são relacionadas com o parâmetro de referência de interesse. Os métodos mais conhecidos e empregados para extrair informações de dados de imagens espectrais (calibração multivariada) são a regressão de mínimos quadrados parciais (PLSR) e a regressão de componentes principais (PCR) (Chandrasekaran et al., 2019). Por fim, na terceira etapa, o modelo deve ser aplicado/validado em amostras desconhecidas, mas que possuam a mesma natureza das amostras do conjunto de calibração, a fim de avaliar o poder preditivo do modelo desenvolvido (Roggo et al., 2007).

Os modelos desenvolvidos, por meio de análise multivariada, podem ser avaliados por alguns parâmetros relacionados à precisão, tais como: coeficientes de determinação ( $R^2$ ); Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático de Calibração (do inglês

*Root Mean Square Error of Calibration*, RMSEC); Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático de Validação Cruzada (*Root Mean Square Error of Cross Validation*, RMSECV) e Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio da Validação Cruzada Relativo (RMSECVr), calculado em relação ao valor médio da faixa do parâmetro de qualidade. A espectroscopia Vis-NIR vem sendo utilizada para mensuração da qualidade de diversas frutas, inclusive em mangas, há muitos anos, como demonstrado na tabela 3.

**Tabela 3** - Avaliação da qualidade interna de frutas através de espectroscopia Vis-NIR.

Fruta	Método quimiométrico*	Atributos/aplicação**	Referências
Abacate 'Hass'	PLSR	Ácidos graxos, proporção ácidos graxos saturados/insaturados e concentrações de nutrientes minerais	Kämper et al., 2020
Banana 'Cavendish'	MLR, PLSR e redes neurais	SS, ph, FP, cor (L, a, b)	Wang et al., 2023
Kiwi 'Hayward'	PLSR	SS e pH	Moghimi et al., 2010
Laranja 'Valência' e toranja 'Star Ruby'	PLSR	SS, AT, <i>ratio</i> (SS/AT) e BrimA ("Brix" menos ácidos)	Ncama et al., 2017
Maçã 'Gala'	PLSR	Teor de umidade, SS, pH e FP	Abasi et al., 2019
Manga	PLSR	SS	Saranwong; Sornsrivichai; Kawano, 2003
	MLR e PLSR	MS, amido; e qualidade de consumo (SS) das frutas maduras a partir da qualidade na colheita	Saranwong; Sornsrivichai; Kawano, 2004
	PLSR	FP	Valente et al., 2009
	PLSR	AT, SS, MS, FP	Marques et al., 2016
	PLSR	SS e MS	Dos Santos Neto et al., 2017
	Modelos de classificação***	Distúrbios fisiológicos internos	Mogollón et al., 2020

	PLSR	SS	Sharma; Sirisomboon; Pornchaloempong, 2020
	PLSR	SS e vitamina C	Kusumiyati; Munawar; Suhandy, 2021
	PLSR e MLR	FP, SS, AT, pH, índice de maturação (a partir da firmeza, SS e AT), $\beta$ -caroteno	Rungpichayapichet et al., 2023
Melão 'Hami'	PLSR	SS	Hu et al., 2019
Morango 'Festival', 'Gafiotá' e 'Florida'	PLSR	Estádio de maturação, cor (L, C e h), SS, AT e polifenóis totais	Saad; Azam; Amer, 2022
Tangerina Satsuma 'Zaojin Jiaogan'	PCR e PLSR	FP, pH, SS e MS	Gómez; He; Pereira, 2006
Uvas 'Syrah' e 'Cabernet Sauvignon'	MLR, PCR e PLSR	SS, antocianinas e flavonoides	Dos Santos Costa et al., 2019

\*PLSR: regressão de mínimos quadrados parciais; MLR: regressão linear múltipla; PCR: regressão de componentes principais; \*\*AT: acidez titulável; SS: sólidos solúveis; MS: matéria seca; FP: firmeza da polpa. \*\*\*Modelos de classificação: Modelo logístico; Análise Discriminante Linear (LDA); Máquina de vetores de suporte (SVM). Modelo de classificação funcional e um modelo de classificação *Random Forest*.

## REFERÊNCIAS

- ABASI, S. *et al.* Rapid measurement of apple quality parameters using wavelet denoising transform with Vis/NIR analysis. **Scientia Horticulturae**, v. 252, p. 7-13, 2019.
- ABRAFRUTAS. **Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frutas e Derivados**. Disponível em: <https://abrafrutas.org/2021/04/13973/>. Acesso em: 07 out. 2023.
- ABRAFRUTAS. **Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frutas e Derivados**. Disponível em: <https://abrafrutas.org/2023/06/conheca-a-regiao-nordeste-do-brasil-e-sua-importancia-na-fruticultura-brasileira/>. Acesso em: 07 out. 2023.
- ALANDER, J. T. *et al.* A Review of Optical Nondestructive Visual and Near-Infrared Methods for Food Quality and Safety. **International Journal of Spectroscopy**, v.2013, p. 1-36, 2013.
- ANDERSON, N. T. *et al.* Achieving robustness across season, location and cultivar for a NIRS model for intact mango fruit dry matter content. **Postharvest Biology and Technology**, v. 168, p. 111202, 2020.
- ANDERSON, N. T.; SUBEDI, P. P.; WALSH, K. B. Manipulation of mango fruit dry matter content to improve eating quality. **Scientia Horticulturae**, v. 226, p. 316-321, 2017.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTI & FRUTI 2022. Santa Cruz do Sul: **Editora Gazeta Santa Cruz**, 2022. 96p.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTI & FRUTI 2023. Santa Cruz do Sul: **Editora Gazeta Santa Cruz**, 2023. 108p.
- BALLY, I. S. E. *Mangifera indica* (mango). **Species profiles for pacific island agroforestry**, p. 1-25, 2006.
- BAMBALELE, N. L. *et al.* Recent advances on postharvest technologies of mango fruit: A review. **International Journal of Fruit Science**, v. 21, n. 1, p. 565-586, 2021.

BETEMPS, D. L.; FACHINELLO, J. C.; GALARÇA, S. P. Espectroscopia do visível e infravermelho próximo (vis/nir) na avaliação da qualidade de mangas Tommy Atkins. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, p. 306-313, 2011.

BORBA, K. R.; SANTOS, P. M. Espectroscopia de infravermelho para análise de qualidade em frutas e hortaliças. *In*: FERREIRA, M. D. (ed.). **Instrumentação pós-colheita em frutas e hortaliças**. Brasília: Embrapa, 2017. Cap. 2. p. 221-230.

BORGES FILHO, B. Manga. **CEAGESP**. Disponível em: <<https://ceagesp.gov.br/hortiescolha/hortipedia/manga/>>. Acesso em: 5 out. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Guia alimentar para a população brasileira**. 2. ed. Brasília, 2014.

CARRILLO, N. *et al.* Limiting carbohydrates to trunk and roots improves bud fruitfulness, fruit set and yield in cv. Malbec. **OENO One**, v. 56, n. 4, p. 95-106, 2022.

CHANDRASEKARAN, I. *et al.* Potential of near-infrared (NIR) spectroscopy and hyperspectral imaging for quality and safety assessment of fruits: An overview. **Food Analytical Methods**, v. 12, p. 2438-2458, 2019.

CHIDOZIE, V. N. *et al.* Antibacterial and toxicological effects of the aqueous extract of *Mangifera indica* stem bark on albino rats. **Global Journal of Biology, Agriculture and health sciences**, v. 3, n. 3, p. 237-245, 2014.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2.ed. Lavras: Editora UFLA, 2005.

COSTA A. N.; COSTA A. F. S.; CAETANO L. C. S.; VENTURA J. A. **Recomendações técnicas para a produção de manga**. 1° Ed. Vitória – ES: INCAPER, 2008. 51-53 p.

COSTA, J. G. **Principais cultivares de manga e seus atributos qualitativos**. Embrapa Semiárido, 2002.

COSTA, J. G.; SANTOS, A. C. Cultivo da Mangueira - Cultivares. **Embrapa Semiárido** 2004. Disponível em: <[http://www.cpatia.embrapa.br:8080/sistema\\_producao/spmanga/cultivares.htm](http://www.cpatia.embrapa.br:8080/sistema_producao/spmanga/cultivares.htm)> Acesso em: 14 de out. 2023.

CUNHA, G. A. P. *et al.* Manga para exportação: aspectos técnicos da produção. Brasília: Embrapa-SPI, 1994. 35p. **Série Publicações Técnicas FRUPEX**, v. 8.

DATIR, S.; REGAN, S. Advances in physiological, transcriptomic, proteomic, metabolomic, and molecular genetic approaches for enhancing Mango fruit quality. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 71, n. 1, p. 20-34, 2022.

DERESE, S. *et al.* *Mangifera indica* L.(anacardiaceae). *In: Medicinal Spices and Vegetables from Africa*. Academic Press, 2017. p. 451-483.

DHIMAN, B.; KUMAR, Y.; KUMAR, M. Fruit quality evaluation using machine learning techniques: review, motivation and future perspectives. **Multimedia Tools and Applications**, v. 81, n. 12, p. 16255-16277, 2022.

DOS SANTOS COSTA, D. *et al.* Development of predictive models for quality and maturation stage attributes of wine grapes using vis-nir reflectance spectroscopy. **Postharvest Biology and Technology**, v. 150, p. 166-178, 2019.

DOS SANTOS NETO, J. P. *et al.* Determination of 'Palmer' mango maturity indices using portable near infrared (VIS-NIR) spectrometer. **Postharvest Biology and Technology**, v. 130, p. 75-80, 2017.

FAOSTAT: **crops and livestock products**. Disponível em:  
<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 2 out. 2023.

FENG, F. *et al.* The effects of bagging and debugging on external fruit quality, metabolites, and the expression of anthocyanin biosynthetic genes in 'Jonagold' apple (*Malus domestica* Borkh.). **Scientia Horticulturae**, v. 165, p. 123-131, 2014.

FERNANDES, A. *et al.* Combined Effect of Biostimulants and Mineral Fertilizers on Crop Performance and Fruit Quality of Watermelon Plants. **Horticulturae**, v. 9, n. 7, p. 838, 2023.

FERREIRA, F. R. *et al.* Germoplasma de manga no Brasil. **O agronegócio manga: produção e mercado**, p. 111-118, 2002.

FONSECA, N. *et al.* A cultura da manga. Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2006. Disponível em:  
<<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/120501>> Acesso em: 14 de out. 2023.

FREITAS, S. T. de *et al.* Mango dry matter content at harvest to achieve high consumer quality of different cultivars in different growing seasons. **Postharvest Biology and Technology**, v. 189, p. 111917, 2022.

FREITAS, S. T. de; MARQUES, E. J. N. Uso de espectrômetros Vis-NIR para a determinação de parâmetros de qualidade físico-química de mangas. 8 p. (Embrapa Semiárido. Comunicado Técnico, 189), 2022. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1147792>>. Acesso em: 24 out. 2023.

GENTILE, C. *et al.* Food quality and nutraceutical value of nine cultivars of mango (*Mangifera indica* L.) fruits grown in Mediterranean subtropical environment. **Food chemistry**, v. 277, p. 471-479, 2019.

GOKE, A.; SERRA, S.; MUSACCHI, S. Manipulation of fruit dry matter via seasonal pruning and its relationship to d'Anjou pear yield and fruit quality. **Agronomy**, v. 10, n. 6, p. 897, 2020.

GÓMEZ, A. H.; HE, Y.; PEREIRA, A. G. Non-destructive measurement of acidity, soluble solids and firmness of Satsuma mandarin using Vis/NIR-spectroscopy techniques. **Journal of food engineering**, v. 77, n. 2, p. 313-319, 2006.

HU, R. *et al.* Optimization of soluble solids content prediction models in 'Hami' melons by means of Vis-NIR spectroscopy and chemometric tools. **Infrared Physics & Technology**, v. 102, p. 102999, 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manga: área plantada e quantidade produzida**. Brasília, DF: IBGE, 2021 (Produção agrícola municipal, 2021). Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 06 out. 2023.

JHA, S. N. *et al.* Quality parameters of mango and potential of non-destructive techniques for their measurement—a review. **Journal of food science and technology**, v. 47, p. 1-14, 2010.

KÄMPER, W. *et al.* Rapid determination of nutrient concentrations in Hass avocado fruit by Vis/NIR hyperspectral imaging of flesh or skin. **Remote sensing**, v. 12, n. 20, p. 3409, 2020.

- KHANDAKER, M. M. *et al.* Application of Girdling for Improved Fruit Retention, Yield and Fruit Quality in *Syzygium samarangense* under Field Conditions. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 13, n. 1, p. 18-24, 2011.
- KUSUMIYATI, K.; MUNAWAR, A. A.; SUHANDY, D. Fast, simultaneous and contactless assessment of intact mango fruit by means of near infrared spectroscopy. **AIMS Agriculture and Food**, v. 6, n. 1, p. 172-184, 2021.
- LARIBI, A. I. *et al.* Effect of sustained and regulated deficit irrigation on fruit quality of pomegranate cv. 'Mollar de Elche' at harvest and during cold storage. **Agricultural Water Management**, v. 125, p. 61-70, 2013.
- LE, T. D. *et al.* Supply chain management of Mango (*Mangifera indica* L.) fruit: A review with a focus on product quality during postharvest. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 5, p. 799431, 2022.
- LEÃO, É. L. S.; MOUTINHO, L. M. G.; CAMPOS, L. H. R. Arranjo Produtivo Local da Fruticultura Irrigada do Vale do Submédio do São Francisco, Pernambuco/Bahia: Fluxos Comerciais e Dinamismo Local. 2016. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, 9: 273-303, 2016.
- LÉCHAUDEL, M. *et al.* Leaf: fruit ratio and irrigation supply affect seasonal changes in minerals, organic acids and sugars of mango fruit. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 85, n. 2, p. 251-260, 2005.
- LÉCHAUDEL, M. *et al.* Leaf-to-fruit ratio affects water and dry-matter content of mango fruit. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 77, n. 6, p. 773-777, 2002.
- LÉCHAUDEL, M.; JANNOYER, M.; GÉNARD, M. Effects of the leaf: fruit ratio on growth and partitioning of water and dry matter in mango fruit. **Acta Horticulturae**, 645, p. 429–433, 2004.
- LÉCHAUDEL, M.; JOAS, J. An overview of preharvest factors influencing mango fruit growth, quality and postharvest behaviour. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, p. 287-298, 2007.

LIEVRE, D. L. *et al.* Modifying carbohydrate supply to fruit during development changes the composition and flavour of *Actinidia chinensis* var. *chinensis* 'Zesy002' Kiwifruit. **Plants**, v. 10, n. 7, p. 1328, 2021.

LIMA NETO, F. P. Mangueira - Características da planta. Brasília: **EMBRAPA**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/manga/pre-producao/caracteristicas/planta>>. Acesso em: 5 de out. 2023.

LIN, H.; YING, Y. Theory and application of near infrared spectroscopy in assessment of fruit quality: a review. **Sensing and instrumentation for food quality and safety**, v. 3, p. 130-141, 2009.

LU, C. Early-Summer Deficit Irrigation Increases the Dry-Matter Content and Enhances the Quality of Ambrosia™ Apples At-and Post-Harvest. **Horticulturae**, v. 8, n. 7, p. 571, 2022.

MALDONADO-CELIS, M. E. *et al.* Chemical composition of mango (*Mangifera indica* L.) fruit: Nutritional and phytochemical compounds. **Frontiers in plant science**, v. 10, p. 1073, 2019.

MARQUES, E. J. N. *et al.* Espectroscopia na região do infravermelho próximo (NIR): técnica analítica não destrutiva para determinação da qualidade de manga. *In*: FIGUEIREDO NETO, A.; ALMEIDA, F. A. C.; CAVALCANTE, I. H. L. **Manga: maturação, colheita e conservação**. Petrolina: Univasf, 2017. cap. 3, p. 63-87, 2017.

MARQUES, E. J. N. *et al.* 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.

MITCHELL, J. D. *et al.* Neotropical Anacardiaceae (cashew family). **Brazilian Journal of Botany**, v. 45, n. 1, p. 139-180, 2022.

MOGHIMI, A. *et al.* Vis/NIR spectroscopy and chemometrics for the prediction of soluble solids content and acidity (pH) of kiwifruit. **Biosystems engineering**, v. 106, n. 3, p. 295-302, 2010.

- MOGOLLÓN, R. *et al.* Non-destructive prediction and detection of internal physiological disorders in 'Keitt' mango using a hand-held Vis-NIR spectrometer. **Postharvest Biology and Technology**, v. 167, p. 111251, 2020.
- MORTON, J. Mango. **Fruits of warm climates**. Julia F. Morton, Miami, FL, p. 221–239, 1987.
- MOUCO, M. A. C *et al.* Cultivo da Mangueira. p. 114, 2015. versão eletrônica- 2ª ed. ISSN1807-0027 Versão Eletrônica Ago/2010.
- MUSACCHI, S.; SERRA, S. Apple fruit quality: Overview on pre-harvest factors. **Scientia Horticulturae**, v. 234, p. 409-430, 2018.
- NATIONAL MANGO BOARD. Manual de Práticas para o Melhor Manejo Pós-Colheita da Manga. **National Mango Board**, 2011. Disponível em: <<https://edis.ifas.ufl.edu/pdf/files/hs/hs119400.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2023.
- NCAMA, K. *et al.* Application of Vis/NIR spectroscopy for predicting sweetness and flavour parameters of 'Valencia' orange (*Citrus sinensis*) and 'Star Ruby' grapefruit (*Citrus x paradisi* Macfad). **Journal of Food Engineering**, v. 193, p. 86-94, 2017.
- NICOLAÏ, B. M. *et al.* Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality. **Annual review of food science and technology**, v. 5, p. 285-312, 2014.
- NTSOANE, M. L. *et al.* Quality assessment and postharvest technology of mango: A review of its current status and future perspectives. **Scientia Horticulturae**, v. 249, n. September 2018, p. 77–85, 2019.
- PADDA, M. S. *et al.* Methods to analyze physico-chemical changes during mango ripening: A multivariate approach. **Postharvest Biology and Technology**, v. 62, n. 3, p. 267-274, 2011.
- PALMER, J. *et al.* Manipulation of fruit dry matter accumulation and fruit size in 'Scifresh' apple through alteration of the carbon supply, and its relationship with apoplastic sugar composition. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 88, n. 4, p. 483-489, 2013.
- PASQUINI, C. Near infrared spectroscopy: fundamentals, practical aspects and analytical applications. **Journal of the Brazilian chemical society**, v. 14, p. 198-219, 2003.

- PINTO, A. C. Q.; SILVA, D. J.; PINTO, P. A. C. Mango. *In: Fertilizing for High Yield and Quality: Tropical Fruits of the Tropics*, IPI Bulletin 18, 123 - 141 (Ed Johnston, A. E.). Horgen, Switzerland: International Potash Institute, 2007.
- RAHMATI, M. *et al.* Water scarcity conditions affect peach fruit size and polyphenol contents more severely than other fruit quality traits. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, n. 5, p. 1055-1065, 2015.
- RASTEGAR, S.; RAHIMZADEH, M. Impact of Maturity and Genotype on the Physicochemical Properties of Mango (*Mangifera indica* L.) Fruit. **Erwerbs-Obstbau**, v. 65, n. 5, p. 1647-1655, 2023.
- REIS, R. C. *et al.* Physical, chemical and sensory attributes of fruits of ten mango varieties grown under organic production system. **Revista Caatinga**, v. 34, p. 452-459, 2021.
- ROGGO, Y. *et al.* A review of near infrared spectroscopy and chemometrics in pharmaceutical technologies. **Journal of pharmaceutical and biomedical analysis**, v. 44, n. 3, p. 683-700, 2007.
- RUNGPICHAYAPICHET, P. *et al.* Comparison of near-infrared spectroscopy and hyperspectral imaging for internal quality determination of 'Nam Dok Mai' mango during ripening. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 17, n. 2, p. 1501-1514, 2023.
- SAAD, A. G.; AZAM, M. M.; AMER, B. M. A. Quality analysis prediction and discriminating strawberry maturity with a hand-held Vis–NIR spectrometer. **Food Analytical Methods**, p. 1-11, 2022.
- SARANWONG, I.; SORNSRIVICHAI, J; KAWANO, S. Performance of a portable near infrared instrument for Brix value determination of intact mango fruit. **Journal of near infrared spectroscopy**, v. 11, n. 3, p. 175-181, 2003.
- SARANWONG, S; SORNSRIVICHAI, J; KAWANO, S. Prediction of ripe-stage eating quality of mango fruit from its harvest quality measured nondestructively by near infrared spectroscopy. **Postharvest biology and technology**, v. 31, n. 2, p. 137-145, 2004.

SHAH, K. A. *et al.* *Mangifera indica* (mango). **Pharmacognosy reviews**, v. 4, n. 7, p. 42, 2010.

SHARMA, S.; SIRISOMBOON, P.; PORNCHALOEMPONG, P. Application of a Vis-NIR spectroscopic technique to measure the total soluble solids content of intact mangoes in motion on a belt conveyor. **The Horticulture Journal**, v. 89, n. 5, p. 545-552, 2020.

SILVA-LUZ, C. L. *et al.* Anacardiaceae. *In: Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB80029>>. Acesso em: 03 out. 2023.

SINGH, Z. *et al.* Mango-postharvest biology and biotechnology. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 32, n. 4, p. 217-236, 2013.

SIVAKUMAR, D.; JIANG, Y.; YAHIA, E. M. Maintaining mango (*Mangifera indica* L.) fruit quality during the export chain. **Food Research International**, v. 44, n. 5, p. 1254-1263, 2011.

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; NIEMAN, T. A. Princípios de análise instrumental. 5. Ed. São Paulo: Bookman, 2002.

SOUZA, J. M. A. *et al.* Performance of mango cultivars under subtropical conditions in the state of São Paulo. **Bioscience Journal**, v. 34, n. 1, p. 1-11, 2018.

SRIVASTAVA, S.; SADISTAP, S. Data processing approaches and strategies for non-destructive fruits quality inspection and authentication: a review. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 12, n. 4, p. 2758-2794, 2018a.

SRIVASTAVA, S.; SADISTAP, S. Non-destructive sensing methods for quality assessment of on-tree fruits: a review. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 12, n. 1, p. 497-526, 2018b.

SUBEDI, P. P.; WALSH, K. B.; OWENS, G. Prediction of mango eating quality at harvest using short-wave near infrared spectrometry. **Postharvest Biology and Technology**, v. 43, n. 3, p. 326-334, 2007.

Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TBCA). Universidade de São Paulo (USP). Food Research Center (FoRC). Versão 7.2. São Paulo, 2023. Disponível em: <http://www.fcf.usp.br/tbca>. Acesso em: 07 out. 2023.

- TIAN, S. P. *et al.* Quality properties of harvested mango fruits and regulating technologies. **New trends in postharvest management of fresh produce II. Fresh Produce**, v. 4, p. 49-54, 2010.
- VALENTE, M. *et al.* Multivariate calibration of mango firmness using vis/NIR spectroscopy and acoustic impulse method. **Journal of Food Engineering**, v. 94, n. 1, p. 7-13, 2009.
- VANNIÈRE, H., REY J.Y.; VAYSSIÈRES, J.F. Mango technical itinerary (*Mangifera indica* L.). **COLEACP PIP program**, 2013. Disponível em: <<https://agritrop.cirad.fr/573091/>>. Acesso em: 14 out. 2023.
- WANG, H. *et al.* Fruit quality evaluation using spectroscopy technology: a review. **Sensors**, v. 15, n. 5, p. 11889-11927, 2015.
- WANG, M. *et al.* Flexible Vis/NIR wireless sensing system for banana monitoring. **Food Quality and Safety**, p. fyad025, 2023.
- YAHIA, E. M. Mango (*Mangifera indica* L.). *In: Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits*. Woodhead Publishing. p. 492-567e, 2011.
- YASHODA, H. M.; PRABHA, T. N.; THARANATHAN, R. N. Mango ripening – chemical and structural characterization of pectic and hemicellulosic polysaccharides. **Carbohydrate Research**, v. 340, n. 7, p. 1335-1342, 2005.
- YASHODA, H. M.; PRABHA, T. N.; THARANATHAN, R. N. Mango ripening: changes in cell wall constituents in relation to textural softening. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86, n. 5, p. 713-721, 2006.
- ZUAZO, V. H. D. *et al.* Deficit irrigation strategies for subtropical mango farming. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 41, n. 1, p. 13, 2021.

## 4 CAPÍTULO 2: AVALIAÇÃO E RECOMENDAÇÃO DE ESPECTRÔMETROS VIS-NIR PORTÁTEIS PARA DETERMINAÇÃO DA QUALIDADE NA COLHEITA E PREDIÇÃO DA QUALIDADE DE CONSUMO EM MANGAS ‘PALMER’

### RESUMO

O Vale do São Francisco é o principal centro de produção e exportação de mangas. Na região, a crescente demanda por frutas de excelente qualidade torna importante a utilização de métodos precisos para a caracterização e seleção de mangas com qualidade de consumo superior. Os objetivos deste trabalho foram avaliar o desempenho de diferentes espectrômetros Vis-NIR portáteis para a determinação de parâmetros de qualidade de mangas ‘Palmer’ no momento da colheita; e realizar a predição da qualidade de consumo das frutas maduras a partir de sua qualidade de colheita determinada através de duas estratégias. Foram realizados dois experimentos, sendo (1) uma análise comparativa da eficiência dos espectrômetros FieldSpec 3, Scio, Telspec e F-750 para a avaliação de qualidade de mangas ‘Palmer’ no momento da colheita; e (2) desenvolvimento de modelos para a predição da qualidade de consumo de mangas ‘Palmer’. Para isto, dados espectrais foram obtidos em frutas colhidas na maturação fisiológica através do espectrômetro F-750 e utilizados para: (1) a geração de um modelo preditivo para o teor de sólidos solúveis (SS) das frutas maduras; e (2) determinação não destrutiva dos teores de matéria seca (MS) nas frutas na colheita para predizer a qualidade de consumo (SS) das frutas maduras. Para o experimento 1, os modelos preditivos para cor de polpa (CP) (parâmetros L e h) e MS apresentaram desempenho satisfatório, possuindo potencial para aplicações práticas na agroindústria de mangas. Os modelos construídos para os parâmetros C (CP), SS, firmeza de polpa e acidez titulável não apresentaram poder preditivo satisfatório, tornando a aplicação prática dos modelos inviável. O espectrômetro recomendado é o F-750, especialmente para análise de MS, sendo o que mais se ajusta à utilização prática na agroindústria da manga. Para o experimento 2, a predição da qualidade de consumo de mangas ‘Palmer’ é mais precisa quando realizada a partir da MS determinada de modo não destrutivo na colheita ( $R^2=0,99$ ), caracterizando um método altamente promissor para a agroindústria de mangas no Vale do São Francisco.

**Palavras-chave:** *Mangifera indica* L.; pós-colheita; calibração; matéria seca.

## ABSTRACT

The São Francisco Valley is the main center for mango production and exportation. In the region, the increasing demand for fruits of excellent quality makes it important to use precise methods for the characterization and selection of mangoes with superior eating quality. The objectives of this study were to evaluate the performance of different portable Vis-NIR spectrometers for determining quality parameters of 'Palmer' mangoes at harvest time and to predict the eating quality of ripe fruits based on their harvest quality determined through two strategies. Two experiments were conducted, namely (1) a comparative analysis of the efficiency of FieldSpec 3, Scio, Telspec, and F-750 spectrometers for evaluating the quality of 'Palmer' mangoes at harvest; and (2) development of models for predicting the consumption quality of 'Palmer' mangoes. For this purpose, spectral data were obtained from fruits harvested at physiological maturity using the F-750 spectrometer and used for (1) generating a predictive model for soluble solids content (SS) of ripe fruits; and (2) non-destructive determination of dry matter (DM) content in harvested fruits to predict the eating quality (SS) of ripe fruits. For experiment 1, the predictive models for pulp color (PC) (parameters L and h) and DM showed satisfactory performance, with potential for practical applications in the mango agroindustry. The models constructed for parameters C (PC), SS, pulp firmness, and titratable acidity did not show satisfactory predictive power, making practical application of the models unfeasible. The recommended spectrometer is the F-750, especially for DM analysis, as it is the one that best fits practical use in the mango agroindustry. For experiment 2, the prediction of 'Palmer' mango eating quality is more accurate when performed from non-destructive DM determined at harvest ( $R^2=0.99$ ), characterizing a highly promising method for the mango agroindustry in the São Francisco Valley.

**Keywords:** *Mangifera indica* L.; postharvest; calibration; dry matter.

## 4.1 INTRODUÇÃO

A manga (*Mangifera indica* L.) se destaca como uma cultura frutífera de importância global, sendo mais amplamente cultivada em regiões tropicais e subtropicais no mundo e altamente apreciada para consumo local e pelo comércio internacional (Bura et al., 2023). No Brasil, possui elevada importância socioeconômica, com o Vale do São Francisco, localizado na região Nordeste, sendo uma das principais regiões produtoras, responsável por aproximadamente 80,37% e 87% do total de mangas produzidas e exportadas pelo país, respectivamente (Abrafrutas, 2021; Ibge, 2021).

A manga é altamente nutritiva, sendo uma excelente fonte de fibras, minerais, vitaminas, macronutrientes, fitoquímicos bioativos como polifenóis e carotenoides, que são biologicamente importantes e servem como indicadores de qualidade das frutas (Yahia et al., 2023). Durante o amadurecimento, a manga passa por importantes alterações fisiológicas e bioquímicas que resultam no aprimoramento de suas características sensoriais, tornando-as aptas ao consumo. Entre estas mudanças estão o aumento na produção de etileno e na respiração, amolecimento da polpa, gliconeogênese, perda da acidez, bem como síntese e acúmulo de pigmentos e de compostos aromáticos (Busatto et al., 2022; Liu et al., 2022).

No entanto, uma manga apenas atingirá os padrões de qualidade adequados se o processo de amadurecimento tiver iniciado na polpa interna no momento da colheita, visto que uma manga colhida antes deste estágio de maturação não atingirá seu potencial máximo de qualidade de consumo (National Mango Board, 2011; Padda et al., 2011). Os principais atributos mensuráveis de qualidade em mangas que são altamente correlacionados às suas características sensoriais são os teores de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), firmeza da polpa (FP), cor da polpa (CP) e matéria seca (MS) (Malundo et al., 2001; Diop; Benkeblia, 2013; Lawson et al., 2019). Usualmente, o grau de maturação de uma manga pode ser determinado através de escalas de CP, FP e teor de SS, que podem ser utilizadas comercialmente (National Mango Board, 2019).

No entanto, são avaliações que necessitam destruir as amostras, o que as torna comercialmente inviabilizadas, além de produzir resíduos e necessitar da utilização de reagentes e equipamentos caros. Em campo, o grau de maturação de mangas pode ser avaliado com base em avaliações visuais pouco precisas, como tamanho,

cor da casca e conformação do “ombro” das frutas. Assim, a falta de métodos mais precisos para determinação do estágio ideal de maturação para a colheita de mangas vem ocasionado perdas quantitativas e qualitativas na cadeia produtiva e de comercialização, resultando no fornecimento de frutas com qualidade baixa e heterogênea aos consumidores (Ntsoane et al., 2019).

Nesse contexto, a espectroscopia na região do visível ao infravermelho próximo (Vis-NIR) surgiu como uma promissora e rápida tecnologia de avaliação não-destrutiva em frutas e hortaliças, inclusive em mangas, permitindo a determinação de parâmetros de qualidade como SS, AT, FP, CP, MS, amido, índices de maturação, entre outros (Saranwong; Sornsrivichai; Kawano, 2003; Saranwong; Sornsrivichai; Kawano, 2004; Subedi; Walsh; Owens, 2007; Jha et al., 2014; Cortés et al., 2016; Marques et al., 2016; Dos Santos Neto et al., 2017; Dos Santos Neto et al., 2019; Goisser; Wittmann; Mempel, 2021; Rungpichayapichet et al., 2023).

Estudos demonstraram que a MS pode ser determinada com alta exatidão em mangas no momento da colheita, sendo altamente relacionada ao teor de SS das frutas quando maduras, sendo um importante índice para a predição deste parâmetro de qualidade de consumo (Saranwong, Sornsrivichai; Kawano, 2004; Subedi; Walsh; Owens, 2007; Nordey; Davrieux; Léchaudel, 2019; Freitas et al., 2022). Dessa forma, espectrômetros Vis-NIR podem ser usados para prever a qualidade de consumo de mangas, favorecendo a oferta de frutas com qualidade alta e homogênea aos consumidores.

Além disso, nos últimos anos, o desenvolvimento de novas tecnologias utilizadas na construção dos espectrômetros NIR permitiu a redução significativa do tamanho e do custo destes equipamentos, possibilitando o desenvolvimento de aparelhos portáteis atrativos e viáveis para as agroindústrias e pequenos produtores (Marques et al., 2017; Wang et al., 2018; Goisser; Wittmann; Mempel, 2021).

Sendo assim, os objetivos deste trabalho foram (1) desenvolver modelos de predição para as características de qualidade de mangas ‘Palmer’ utilizando diferentes espectrômetros Vis-NIR portáteis no momento da colheita e selecionar o espectrômetro Vis-NIR portátil de melhor desempenho para esta finalidade; e (2) abordar duas estratégias para prever a qualidade de consumo mangas ‘Palmer’ a partir de parâmetros de qualidade na colheita.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

### **4.2.1 Experimento 1: Análise comparativa de espectrômetros Vis-NIR portáteis para a determinação de parâmetros de qualidade em mangas ‘Palmer’ no momento da colheita**

#### 4.2.1.1 Obtenção de amostras de mangas ‘Palmer’

Mangas ‘Palmer’ foram produzidas e colhidas no pomar experimental da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), *Campus* de Ciências Agrárias (9°19'11"S, 40°33'48"W), e em um pomar comercial (9°10'46"S, 40°31'26"W), ambos localizados em Petrolina-PE, onde o clima é classificado como BSwh, região do Submédio do Vale do São Francisco (Figura 4). As frutas foram colhidas em estágio de maturação utilizado comercialmente, entre 1 e 2, definido a partir de escala comercial de coloração de polpa (Santos et al., 2008; National Mango Board, 2011).

Foram coletadas 203 frutas para realização das análises de referência de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), firmeza (FP) e cor da polpa (CP); e 200 frutas para análise de referência de matéria seca (MS). Após a colheita, as frutas foram transportadas para o Laboratório de Agroindústria da UNIVASF, *Campus* de Ciências Agrárias, Petrolina-PE, onde seguiram para as etapas de lavagem, secagem, identificação e foram mantidas em temperatura ambiente ( $24^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ) até que houvesse a diminuição e estabilização da temperatura das frutas que vieram diretamente do campo para a realização das análises não destrutivas (item 4.2.1.2).

Um dia após a colheita e análises não destrutivas, as frutas foram transportadas para o Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-colheita da Embrapa Semiárido, Petrolina-PE, onde foram realizadas as análises destrutivas (item 4.2.1.3), que iniciaram no mesmo dia do transporte. As amostras que não foram analisadas no mesmo dia quanto aos parâmetros de SS e AT foram congeladas e analisadas no dia seguinte quanto a esses dois parâmetros.

**Figura 4** - Colheita (A e B), transporte (C), lavagem (D), secagem e identificação (E) das mangas 'Palmer' utilizadas no experimento.



Fonte: Autoria própria.

#### 4.2.1.2 Análises não destrutivas

Os dados espectrais das mangas foram obtidos por meio dos espectrômetros Vis-NIR portáteis:

- (1) FieldSpec 3 (Analytical Spectral Devices, Boulder, Colorado, Estados Unidos), com registro de dados no modo reflectância na faixa espectral de 350 a 2500 nm, com resolução de 3 a 10 nm (Figura 5A);
- (2) Scio versão 1.2 (Consumer Physics, Israel), com registro de dados no modo reflectância na faixa espectral de 740 a 1070 nm, com intervalo de dados de amostragem de 1,0 nm (Figura 5B);
- (3) Telspec (Telspec, Estados Unidos), no modo reflectância com faixa de 900 a 1700 nm, com um intervalo de dados de amostragem variando de 2,9 a 3,9 nm (não constante) (Figura 5C);

(4) F-750 Produce Quality Meter (Felix Instruments, Estados Unidos), no modo de interactância na faixa espectral de 300 a 1150 nm, com um intervalo de amostragem de dados de 3,0 nm e 4 varreduras médias por espectro (Figura 5D).

Foram seguidas para cada aparelho as recomendações *default* dos seus respectivos fabricantes para as análises (intervalo de aquisição de dados, tempo de integração e tempo de medida). Os espectros foram registrados em cada equipamento diretamente sobre a casca das frutas em dois pontos distribuídos em cada lado da fruta (lados A e B) (Figura 6). Dessa forma, os lados de cada fruta foram tratados como amostras independentes, totalizando 806 amostras.

**Figura 5** - Espectrômetros portáteis utilizados: A) FieldSpec 3; B) Scio v.1.2; C) Tellspec; D) F-750 Produce Quality Meter.

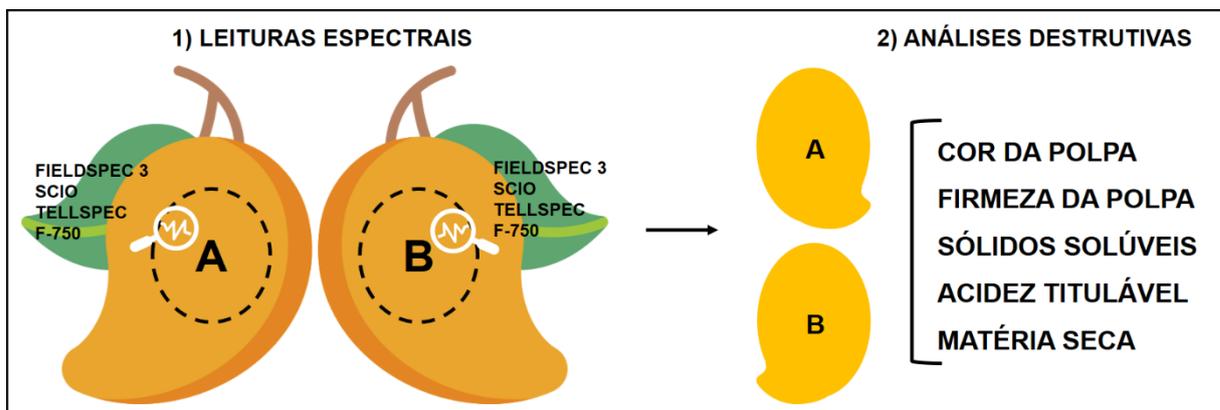


Fontes: (A) Devices, 2010; (B) Consumer Physics, 2023; (C) Tellspec, 2023; (D) Felix Instruments, 2023.

#### 4.2.1.3 Análises destrutivas

As respectivas áreas de cada lado das frutas onde foram coletados os espectros foram utilizadas para as análises físico-químicas, de modo que foram fornecidos os valores de referência para a construção dos modelos de calibração (Figura 6). Os parâmetros físico-químicos avaliados em 203 frutas foram: (1) coloração da polpa (CP) através de colorímetro portátil CR-400 (Konica Minolta, Brasil), com resultados expressos em termos dos parâmetros de luminosidade (L), cromaticidade (C) e ângulo hue ( $^{\circ}$ h); (2) firmeza da polpa (FP), determinada em penetrômetro com ponteira de 6 mm, tomando-se as medidas em dois lados opostos da região equatorial da fruta, onde a epiderme foi removida (área  $\sim 1 \text{ cm}^2$ ), expressa em quilogramas (Kg).

**Figura 6** - Fluxograma geral das análises espectrais e destrutivas em mangas 'Palmer'.



Fonte: Autoria própria.

Após estas análises, foram retiradas amostras da polpa de cada lado das 203 frutas com as dimensões aproximadas de 5 x 3 x 1 cm (comprimento x largura x profundidade), as quais foram cortadas, homogeneizadas e divididas em frações para: (1) determinação de sólidos solúveis (SS) utilizando aproximadamente 1 mL de suco das amostras em refratômetro portátil digital modelo Pocket Pal-1 (Atago, Brasil), com resultados expressos em  $^{\circ}$ Brix; (2) acidez titulável (AT) expressa em porcentagem (v/v) de ácido cítrico, determinada por titulação com hidróxido de sódio ( $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ ) utilizando-se fenolftaleína a 1% como indicador em solução composta por 1 mL de suco da amostra adicionada de 50 mL de água destilada.

A avaliação dos teores de matéria seca (MS) foi realizada em 200 frutas após as leituras espectrais pela pesagem das amostras frescas que então foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 70°C, até atingirem peso constante, sendo então pesadas novamente para obtenção do peso seco. O teor de MS em cada amostra foi expresso em porcentagem, sendo calculado pela fórmula:

$$MS (\%) = \frac{Ps}{Pf} \times 100$$

Onde:

MS – Matéria seca em porcentagem;

Ps – Peso seco da amostra;

Pf – Peso fresco da amostra;

#### 4.2.1.4 Desenvolvimento dos modelos

O desenvolvimento dos modelos e identificação das assinaturas espectrais foram realizadas através do *software* UnscramblerX v.10.4 (CAMO, Oslo, Noruega). Os dados espectrais aferidos em cada equipamento foram submetidos a diferentes pré-tratamentos antes da construção dos modelos de calibração. O método de modelagem utilizado foi a Regressão por Mínimos Quadrados Parciais (PLSR).

Para construir os modelos foi utilizado o algoritmo NIPALS (Geladi; Kowalski, 1986). O número ótimo de variáveis latentes foi obtido através da utilização da validação cruzada completa (*full cross validation*), que foi aplicada a todas as amostras do conjunto de dados de calibração. O desempenho dos modelos obtidos foi avaliado utilizando diferentes parâmetros estatísticos: coeficiente de determinação da etapa de calibração ( $R^2_{cal}$ ) e validação cruzada ( $R^2_{vc}$ ), Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático da Calibração (RMSEC) e de Validação Cruzada (RMSECV) e Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático de Validação Cruzada Relativo (RMSECVr), calculado em relação ao valor médio da faixa do parâmetro de qualidade avaliado.

Os *outliers* (amostras anômalas) foram identificados e removidos manualmente após análise do gráfico de  $T^2$  de *Hotelling* (permite a identificação de valores extremos) *versus* a soma quadrática dos resíduos (Q) (permite a identificação de falta de ajuste

à equação de regressão) (dados não mostrados). O número de *outliers* removidos não excedeu à 5% do total de amostras do conjunto de calibração para a construção dos modelos. A precisão quantitativa dos equipamentos foi comparada pela avaliação dos parâmetros de RMSECV,  $R^2$  e RMSECVr obtidos na validação cruzada completa dos modelos desenvolvidos para cada equipamento.

#### **4.2.2 Experimento 2: Desenvolvimento de modelos para a previsão de qualidade de consumo de mangas ‘Palmer’ a partir da qualidade de colheita**

##### 4.2.2.1 Avaliação não destrutiva da qualidade de mangas ‘Palmer’ no estágio de maturação fisiológica

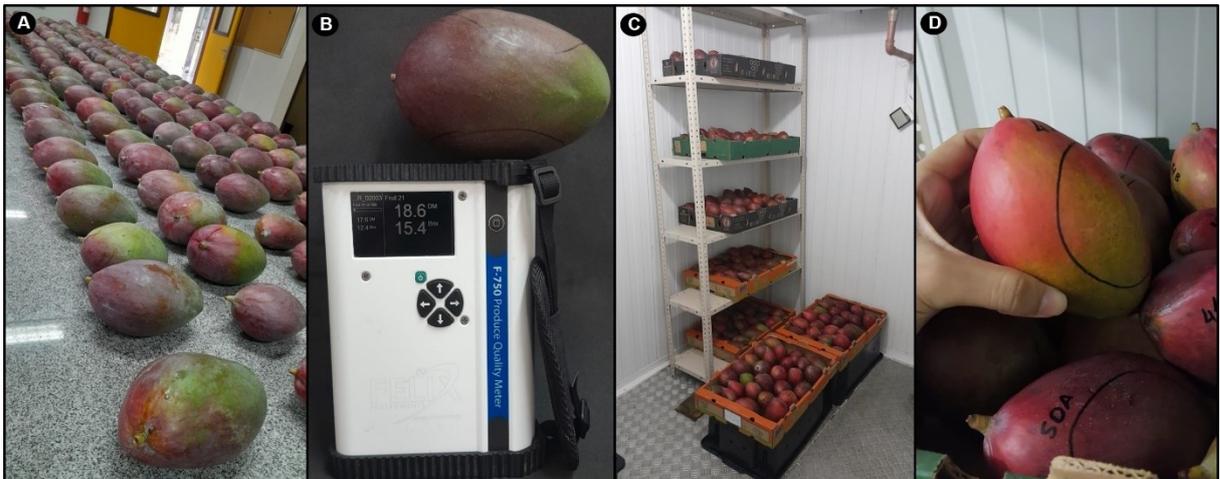
Em um *packing house* localizado em Petrolina-PE (9°18'26"S, 40°37'22"W) foram coletadas 176 mangas ‘Palmer’ em estágio de maturação entre 1 e 2 (Santos et al., 2008; National Mango Board, 2011). As frutas foram transportadas para o Laboratório de Agroindústria da UNIVASF, *Campus* de Ciências Agrárias, Petrolina-PE, onde seguiram para as etapas de lavagem, secagem e identificação (Figura 7A). Em seguida, foram levadas ao Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-colheita da Embrapa Semiárido, Petrolina-PE, onde foram mantidas em temperatura ambiente (24°C ±1°C) até que houvesse a diminuição e estabilização da temperatura das frutas para a realização das análises espectrais, que ocorreram no mesmo dia do transporte.

Os dados espectrais das mangas foram obtidos por meio do espectrômetro Vis-NIR portátil F-750 Produce Quality Meter (Felix Instruments, Estados Unidos), com faixa espectral de 400 a 1100 nm (Figura 7B), sendo os espectros registrados de forma não destrutiva diretamente sobre a casca das frutas em dois pontos distribuídos em cada lado da fruta (lados A e B), totalizando 352 amostras. Dessa forma, os dados espectrais aferidos na colheita foram utilizados para: (1) a geração de um modelo preditivo para o teor de SS das frutas maduras (item 4.2.2.3); e (2) determinação dos teores de MS nas frutas na maturação fisiológica de colheita para prever a qualidade de consumo das frutas quando maduras (item 4.2.2.4).

#### 4.2.2.2 Armazenamento das frutas e análises de referência

Após a obtenção dos dados espectrais, as frutas foram armazenadas à 10°C ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ) em câmara fria (Figura 7C) até atingirem gradualmente maturação ideal para consumo, que foi determinada visualmente pela observação de mudanças na coloração da casca, firmeza ( $\leq 1,53$  Kg) e aroma das frutas, simulando às condições em que um consumidor escolhe uma manga com maturação ideal para consumir (National Mango Board, 2023). As análises de referência das frutas maduras foram realizadas após a seleção manual das frutas à medida em que amadureceram (Figura 7D). Os teores de SS e MS nas mangas maduras foram determinados de acordo com os métodos descritos no item 4.2.1.3.

**Figura 7** - Recepção e preparo (A), análises espectrais (B), armazenamento em câmara fria à 10°C ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ) (C) e seleção após o amadurecimento (D) de mangas 'Palmer' utilizadas no experimento.



Fonte: Autoria própria.

#### 4.2.2.3 Desenvolvimento do modelo de predição de sólidos solúveis em frutas maduras a partir dos espectros aferidos na colheita

O desenvolvimento do modelo e identificação das assinaturas espectrais foram realizados através do *software* UnscramblerX v.10.4 (CAMO, Oslo, Noruega). Os dados espectrais foram submetidos a diferentes pré-tratamentos e modelagem de acordo com o item 4.2.1.4. O modelo foi construído através dos espectros aferidos

nas mangas na maturação fisiológica de colheita e o teor de SS das mangas maduras como análise de referência.

#### 4.2.2.4 Predição da qualidade de consumo

De modo alternativo, os dados espectrais obtidos na colheita das mangas foram utilizados para realizar a predição do teor de MS das mangas na maturação fisiológica de colheita, a partir do modelo para a predição de MS construído para o espectrômetro F-750, no experimento 1. Para realizar a predição da qualidade das mangas prontas para o consumo, os teores preditos de MS nas mangas no momento da colheita foram correlacionados com os teores de SS das respectivas mangas maduras. Os valores de MS das mangas maduras foram correlacionados aos valores previstos de MS pelo espectrômetro F-750 nas frutas na maturação de colheita. Por fim, os teores de MS e SS das frutas maduras também foram correlacionados. As correlações foram avaliadas através do programa computacional SISVAR 5.8.

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### **4.3.1 Experimento 1: Análise comparativa de espectrômetros Vis-NIR portáteis para a determinação de parâmetros de qualidade em mangas ‘Palmer’ no momento da colheita**

##### 4.3.1.1 Análises de referência

As amostras neste trabalho apresentaram heterogeneidade relacionada à composição físico-química, deixando evidente as variações existentes durante o processo de construção dos modelos de calibração (Tabela 4). A maior variação ocorreu para os parâmetros de AT, FP, cor da polpa (parâmetro C), enquanto menor variação ocorreu para os demais, com destaque para os parâmetros L e h também relacionados a cor da polpa. A amplitude dos dados pode ser atribuída a possíveis estágios de maturação diferentes nas frutas avaliadas, visto que as frutas foram avaliadas imediatamente após a colheita (maturação fisiológica).

**Tabela 4** - Parâmetros estatísticos relacionados aos dados de referência para mangas 'Palmer' produzidas no Vale do São Francisco.

<b>Parâmetro de qualidade</b>	<b>N<sup>a</sup></b>	<b>Faixa</b>	<b>Média</b>	<b>DP*</b>	<b>CV (%)**</b>
Matéria Seca (%)	397	10,97 – 23,64	16,03	1,96	12,23
Sólidos Solúveis (%)	406	2,7 – 14,3	7,17	1,36	18,97
Acidez Titulável (% Ácido Cítrico)	406	0,1 – 1,67	0,74	0,28	37,84
Firmeza de Polpa (Kg)	406	0,6 – 10,2	5,44	1,94	35,66
Cor de Polpa (Parâmetro L <sup>o</sup> )	406	16,91 – 107,11	79,72	7,11	8,92
Cor de Polpa (Parâmetro C <sup>o</sup> )	406	20,81 – 82,07	45,96	9,7	21,11
Cor de Polpa (Parâmetro h <sup>o</sup> )	406	54,94 – 129	100,91	5,99	5,94

<sup>a</sup>Número de amostras analisadas. \*Desvio padrão. \*\*Coeficiente de variação.

#### 4.3.1.2 Identificação de bandas espectrais

O desenvolvimento dos modelos de calibração multivariada para todos os parâmetros de qualidade ocorreu a partir da leitura das faixas espectrais específicas de cada espectrômetro Vis-NIR portátil. Foram realizados diferentes testes utilizando as faixas espectrais integrais aferidas por cada aparelho. No entanto, percebeu-se a presença de regiões espectrais com muito ruído, que desta forma, não foram utilizadas.

Assim, neste capítulo são apresentados os modelos construídos após a remoção das faixas espectrais aferidas com ruídos em cada equipamento. Para o F-750, a faixa espectral utilizada para o desenvolvimento dos modelos de predição foi de 699 a 999 nm, Scio com a faixa de 750 a 1050 nm, Tellspec com faixa de 952 a 1601 nm e FieldSpec 3 com faixa de 400 a 2400 nm. De modo geral, os espectros NIR são complexos, apresentando bandas largas que correspondem às sobreposições de picos individuais de ligações C-H, O-H, S-H e N-H, o que dificulta sua interpretação (Pasquini, 2003; Nicolaï et al., 2014).

Os instrumentos F-750 (Figura 8) e Scio (Figura 9) operaram em faixas espectrais similares, sendo possível observar nos espectros uma banda de absorção mais alta no comprimento de onda em torno de 970 nm. O espectrômetro Tellspec (Figura 10) opera em um comprimento de onda maior que os dois anteriores, sendo possível observar dois picos de absorção bem definidos em 970 e 1450 nm, além de um pico centrado aproximadamente em 1190 nm. O aparelho FieldSpec 3 possui uma

faixa espectral que abrange todas as faixas dos demais aparelhos (Figura 11), também sendo possível observar bandas de absorção bem definidas e localizadas aproximadamente em 475, 680, 970, 1450 e 1940, além de 1190 e 1750 nm. Esses resultados foram consistentes com estudos anteriores, inclusive em mangas, onde os mesmos padrões espectrais foram registrados, sendo as bandas centradas aproximadamente em 970, 1450 e 1940 nm relacionadas às vibrações de estiramento de ligações O-H presentes na água (Magwaza et al., 2012; Marques et al., 2016; Nordey et al., 2017; Kusumiyati; Munawar; Suhandy, 2021).

A água é o constituinte químico mais importante da maioria das frutas e hortaliças, absorvendo altamente a radiação NIR, e desta forma, dominando o espectro (Nicolai et al., 2007), como observado neste trabalho. Além disso, Rungpichayapichet et al. (2016) verificaram que os efeitos do amadurecimento em mangas podem ser detectados pela distinção da absorção de água em torno de 970–980 nm, onde os picos de absorção nessa região diminuíram gradualmente durante o amadurecimento das frutas possivelmente devido à perda de água através da transpiração durante o armazenamento.

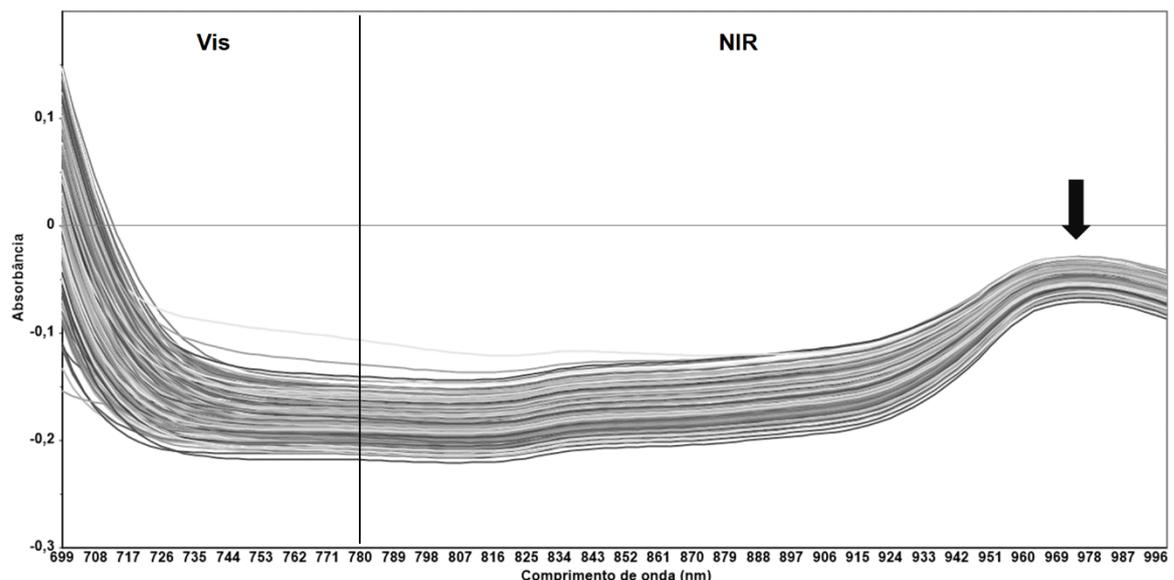
As frutas carnosas contêm cerca de 80 a 90 % em peso de água e, portanto, a medida de qualquer outra variável nas frutas frescas é feita contra as grandes características de absorção da água (Walsh et al., 2020). Outros compostos presentes nas frutas possuem bandas de absorção muito próximas as bandas onde a água apresenta forte absorção, tornando a visualização mais difícil. No entanto, algumas bandas de absorção são bastante conhecidas e bem definidas. A presença de ácidos orgânicos pode ser verificada através de bandas relacionadas às ligações O-H com picos comumente encontrados centralizados em torno 800, 1000 e 1445 nm (Marques et al., 2016; Nordey et al., 2017).

De mesmo modo, as bandas de absorção de amido e açúcares como frutose, glicose e sacarose ocorrem perto de regiões de forte absorção de água (Delwiche; Mekwatanakarn; Wang, 2008). Essas bandas geralmente são provenientes de vibrações de ligações O-H ou C-H, com bandas encontradas centradas em torno de 720, 750, 910, 920, 1190, 1250 e 1750 nm (Magwaza et al., 2012; Marques et al., 2016; Nordey et al., 2017). As bandas centradas em 1190 nm puderam ser observadas nos espectros aferidos pelos dispositivos TellSpec e FieldSpec 3 (Figuras 10 e 11), enquanto a banda característica centrada em torno 1750 nm pôde ser registrada apenas pelo FieldSpec 3 (Figura 11).

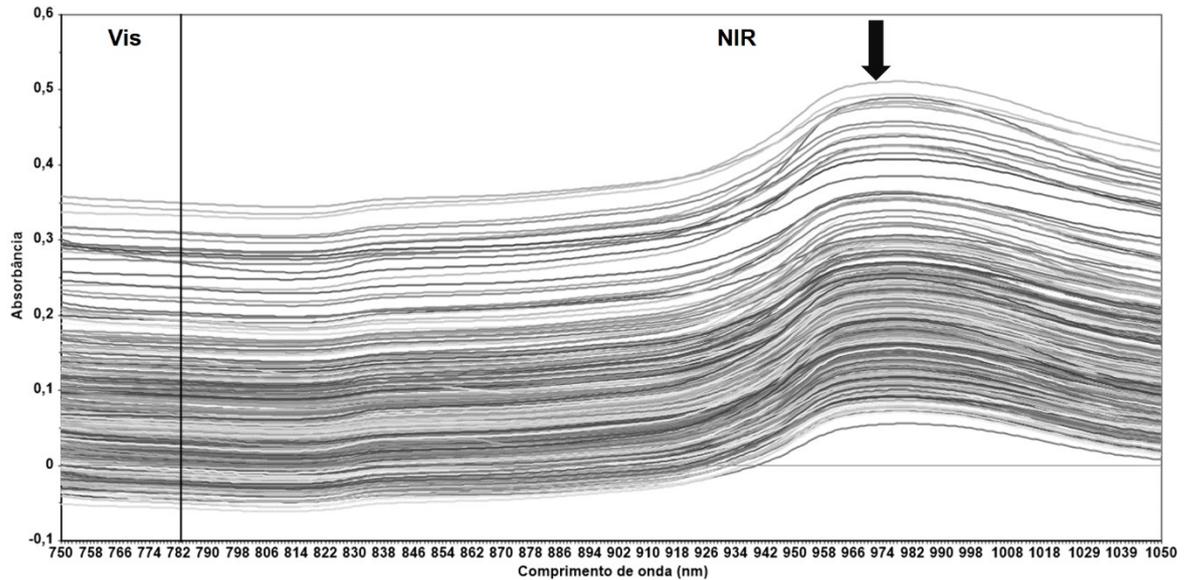
Além disso, os pigmentos das frutas podem ser avaliados com base em seus espectros Vis-NIR. Sabe-se que o pigmento  $\beta$ -caroteno é altamente relacionado à coloração da polpa em mangas (Vásquez-Caicedo et al., 2005), conferindo coloração amarela a laranja-vermelha e apresentando uma forte absorção próximo a 475 nm (Walsh et al., 2020; Brito et al., 2022), que pôde ser verificada pelo espectro registrado pelo Fieldspec 3 (Figura 11). Além disso, o pico de 680 nm pode ser verificado na figura 11, sendo bastante conhecido e utilizado por vários índices espectrais e análises não destrutivas implementadas em dispositivos comerciais para analisar principalmente o teor de clorofila das frutas (Walsh et al., 2020). Na região NIR, estudos relatam que a coloração da polpa de mangas está relacionada às regiões centradas aproximadamente em 800, 1000 e 1700 nm (Rungpichayapichet et al., 2015; Nordey et al., 2017).

De modo geral, os espectros Vis-NIR registrados estão de acordo com a presença de atributos de qualidade relacionados, tais como cor, umidade, teor de açúcares, ácidos orgânicos e outros parâmetros relacionados à qualidade de mangas e outras frutas e hortaliças.

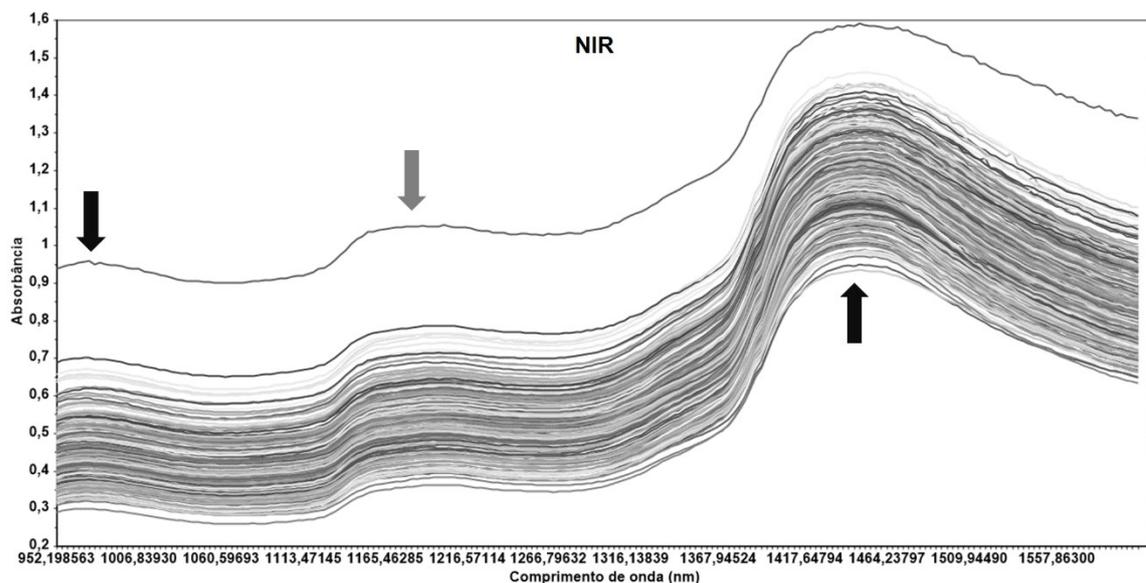
**Figura 8** – Espectros de absorbância (sem pré-processamentos) provenientes de mangas ‘Palmer’ registrados utilizando o espectrômetro F-750. A seta preta indica a banda de absorção de água localizada aproximadamente em 970 nm.



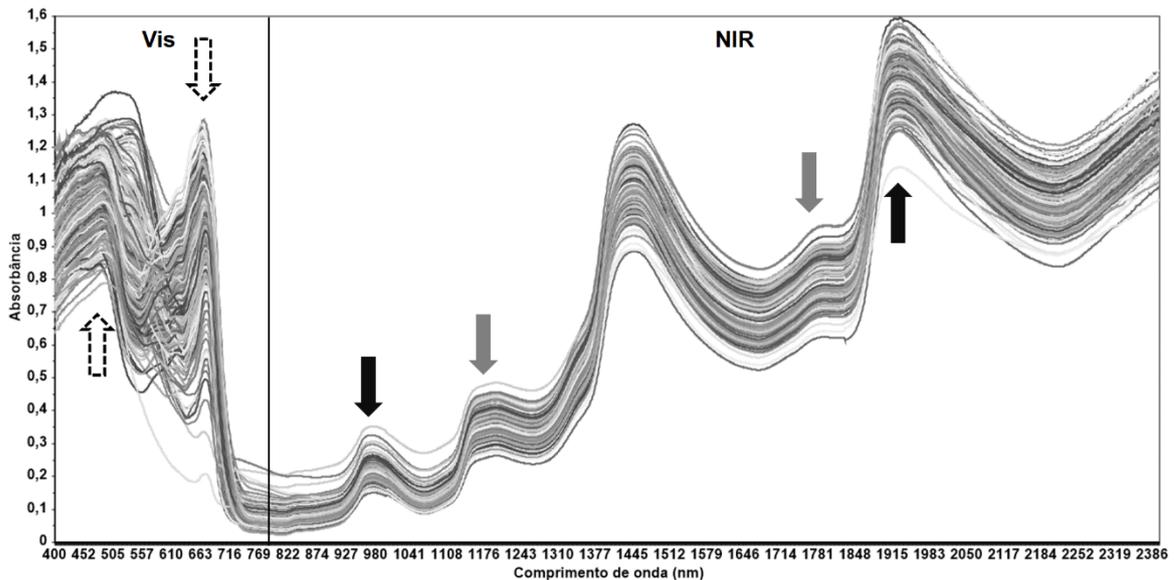
**Figura 9** - Espectros de absorbância (sem pré-processamentos) provenientes de mangas 'Palmer' registrados utilizando o espectrômetro Scio. A seta preta indica a banda de absorção de água localizada aproximadamente em 970 nm.



**Figura 10** - Espectros de absorbância (sem pré-processamentos) provenientes de mangas 'Palmer' registrados utilizando o espectrômetro Telspec. As setas pretas indicam as bandas de absorção de água localizadas aproximadamente em 970 e 1450 nm. A seta cinza indica a banda de absorção centralizada em 1190 nm.



**Figura 11** - Espectros de absorvância (sem pré-processamentos) provenientes de mangas 'Palmer' registrados utilizando o espectrômetro FieldSpec 3. As setas pontilhadas indicam na região visível as bandas de absorção em torno de 475 e 680 nm. As setas pretas indicam as bandas de absorção de água localizadas aproximadamente em 970, 1450 e 1940 nm. As setas cinzas indicam as bandas de absorção centralizadas em 1190 e 1750 nm.



#### 4.3.1.3 Desenvolvimento dos modelos de calibração multivariada

Foram construídos modelos de calibração para a determinação de CP (L, C e h), FP, SS, AT e MS utilizando a técnica de regressão PLS. Diferentes técnicas de pré-processamento foram testadas para a construção dos modelos de calibração, a fim de que fosse removida a variabilidade espectral não relacionada à composição química das amostras, e assim, obtidos os modelos robustos com maiores capacidades preditivas. Nesse sentido, os pré-processamentos testados foram: Variação Normal Padrão (SNV), 1ª e 2ª derivadas com filtro de Savitzky-Golay e transformação Ortogonal de Correção de Sinal (OSC). Neste capítulo são apresentados apenas os modelos construídos para cada parâmetro em cada equipamento utilizando o pré-processamento que favoreceu a obtenção dos menores valores de RMSEC e RMSECV.

Para cor da polpa, o desempenho preditivo dos modelos desenvolvidos para os parâmetros L e h foi satisfatório ( $RMSECV_r \leq 10\%$ ), porém com baixos valores de  $R^2$ .

Os valores de RMSECVr variaram de 5,74 (Tellspec) a 6,62% (Scio) e  $R^2_{vc}$  de 0,13 (Scio) a 0,27 (FieldSpec 3) para L (Tabela 5). Marques e Freitas (2020) reportaram o desenvolvimento de modelos preditivos satisfatórios para o parâmetro L em umbus, porém também com baixos valores de  $R^2_{vc}$ , sendo ainda escassas informações sobre este parâmetro em outros estudos.

Por outro lado, o desempenho preditivo para o parâmetro C foi insatisfatório (RMSECVr > 10%), variando de 15,87 (FieldSpec 3) a 16,17% (Scio), e  $R^2_{vc}$  de 0,35 (Scio) a 0,40 (Tellspec) (Tabela 6). Por fim, os valores de RMSECVr para o ângulo hue da polpa (h) variaram de 3,62 (F-750) a 4,24% (Scio) e  $R^2_{vc}$  de 0,29 (Scio) a 0,50 (FieldSpec 3), sendo assim satisfatórios (Tabela 7).

A cor da polpa em mangas é um importante indicador de maturidade e maturação, sendo uma característica marcante do desenvolvimento de pigmentos alaranjados e amarelos na polpa com a maturidade e o amadurecimento. Dessa forma, o desenvolvimento da cor interna da polpa é um bom indicador da maturidade das frutas, auxiliando na discriminação de frutas maduras e imaturas (Padda et al., 2011; Maldonado-Celis et al., 2019).

Os modelos desenvolvidos para o parâmetro h, foram os mais satisfatórios, especialmente o modelo desenvolvido para o espectrômetro FieldSpec 3. Esse parâmetro representa a tonalidade, sendo expresso em graus, onde 0° é vermelho, 90° é amarelo, 180° é verde e 270° é azul (Konica Minolta, 2023), sendo relatadas na literatura aplicações práticas para determinação da cor de polpa de mangas. Alterações na coloração da polpa em mangas são indicadoras do início de maturação, ocorrendo normalmente redução nos valores de ângulo *hue* da polpa para menos de 100° (desenvolvimento da cor amarela e posterior evolução para o laranja) (Lima; Silva; Azevedo, 2009).

Nordey et al. (2017) utilizaram o espectrômetro portátil LABSPEC 2500 operando na faixa espectral entre 800 e 2300 nm para determinação do ângulo *hue* da polpa de mangas 'Cogshall'. O valor resultante para o RMSEC foi de cerca de 2,48° e o valor de  $R^2_{vc}$  não foi informado. De mesmo modo, Subedi, Walsh e Owens (2007) conseguiram prever com precisão o valor *Hunter b* (uma das coordenadas colorimétricas do espaço de cor L\*a\*b), sendo considerado o melhor índice para a determinação da cor da polpa em diferentes cultivares de manga, utilizando a unidade óptica de interactância "Insight 023137" na faixa de comprimento de onda de 300 a 1150 nm. Cortés et al. (2016) relataram o desenvolvimento de um modelo de predição

para um índice de qualidade interna em mangas 'Osteen', que foi calculado a partir dos parâmetros L, C e h, indicando que parâmetros colorimétricos determinados de modo não destrutivo são promissores para avaliação da qualidade interna em mangas.

Os modelos de calibração desenvolvidos para análise de FP apresentaram desempenho preditivo insatisfatório (Tabela 8). Os valores de RMSECVr foram elevados, variando de 25,05 (F-750) a 29,45 % (Scio). Além disso, os valores de  $R^2_{vc}$  variaram de 0,24 (Scio) a 0,46 (F-750). Os valores de RMSECV para os modelos de calibração de FP foram relativamente altos, comparados ao intervalo observado para esse parâmetro de qualidade, indicando um baixo desempenho de predição dos modelos para fins práticos. Subedi e Walsh (2009) também obtiveram modelos preditivos de FP com baixa qualidade para bananas, pêssegos e mangas.

Marques et al. (2016) reportaram o desenvolvimento de modelos de calibração satisfatórios para FP em mangas cv. Tommy Atkins utilizando o espectrômetro portátil MicroNIR 1700 operando na região de 950 a 1650 nm, com  $R^2_{vc}$  acima de 0,70, porém com baixo desempenho de predição (RMSEPr > 10%), possivelmente devido a erros aleatórios que não estão diretamente relacionados à firmeza das frutas. De modo similar, Dos Santos Neto et al. (2017) obtiveram modelos de calibração de baixa qualidade para FP em mangas 'Palmer' também utilizando o espectrômetro Vis-NIR F-750, sugerindo a incorporação de mais fontes de variação, a fim de reduzir os valores de RMSE e, conseqüentemente, melhorar a robustez.

Saranwong e Kawano (2007) apontaram que muitos estudos foram realizados para prever FP em frutas e hortaliças a partir dos espectros NIR, mas poucos tentaram interpretar o significado da equação de calibração do ponto de vista fisiológico, visto que a perda de firmeza está relacionada à mudanças e perdas de estruturas da parede celular como pectina, celulose e hemicelulose. Dessa forma, é sugerido que algumas regiões específicas de absorções relacionadas a esses componentes devem estar envolvidas na construção dos modelos de calibração, como por exemplo, a pectina que possui pico de absorção em torno de 2250 nm (região inclusive englobada pelo aparelho FieldSpec 3 utilizado neste trabalho), sendo ainda necessários mais estudos detalhados.

Para SS, os modelos preditivos também foram insatisfatórios (Tabela 9). Os valores de RMSECVr variaram de 13,8 (FieldSpec 3) a 15,07 % (Tellspec). Além disso, os valores de  $R^2_{vc}$  variaram de 0,19 (Tellspec) a 0,28 (F-750). Os resultados

encontrados para RMSECV são maiores quando comparados aos obtidos por Marques e Freitas (2020), que utilizaram os espectrômetros F-750, Telspec e Scio para avaliação não destrutiva em umbus, o que pode ser devido às diferentes espécies vegetais estudadas, que possuem características físico-químicas distintas. Por outro lado, Praiphui e Kielar (2023) relataram o desenvolvimento de um modelo preditivo de SS com  $R^2_{vc}$  acima de 0,80 para mangas 'Nam Dok Mai' para o espectrômetro Scio na faixa de 740 – 1070 nm.

Dos Santos Neto et al. (2017) obtiveram um modelo de calibração para SS em mangas 'Palmer' avaliadas durante o amadurecimento considerado satisfatório, com  $R^2_{vc} = 0,87$  e  $RMSECV = 1,39\%$ , porém com  $RMSECVr = 18,83\%$ . No presente trabalho, os modelos desenvolvidos para SS nos diferentes dispositivos apresentaram  $RMSECV$  inferiores a 1,1% e  $RMSECVr$  inferiores a 16%, porém com valores de  $R^2_{vc}$  abaixo de 0,3 (Tabela 9). A menor precisão obtida, de modo geral, possivelmente ocorreu devido à menor variabilidade dos dados de referência, visto que a faixa de SS utilizada por Dos Santos Neto et al. (2017) foi de 3,8 – 21 % ( $CV = 52,17\%$ ), enquanto a faixa no presente trabalho foi menor, ficando entre 2,7 e 14,3 % ( $CV = 18,97\%$ ) (Tabela 4). Dessa forma, considerando que as mangas no presente trabalho foram avaliadas imediatamente após a colheita, a incorporação de mais dados de referência de mangas em diferentes estágios de maturação possivelmente aumentaria a precisão do modelo de calibração para SS.

De mesmo modo, a calibração dos modelos preditivos para AT foram insatisfatórios (Tabela 10), com os modelos apresentando  $RMSECVr$  variando de 30,67 (F-750 e FieldSpec 3) a 35,14% (Telspec) e baixos valores de  $R^2_{vc}$ , que variou de 0,10 (Telspec) a 0,23 (F-750). A AT é um dos parâmetros mais difíceis de serem modelados, sendo este fato atribuído ao grupo funcional ácido  $-COOH$ , que possui ligação covalente de menor momento dipolar e absorvidade muito baixa, além de que o teor de AT normalmente é baixo (em torno 2%, por exemplo, em laranjas), tornando difícil obter informações confiáveis/repetíveis através dos espectros de absorção (Saranwong; Kawano, 2007).

Marques et al. (2016) desenvolveram modelos de calibração satisfatórios para AT em mangas 'Tommy Atkins', com  $R^2_{vc}$  acima de 0,70, somente após a eliminação de amostras do conjunto de calibração com AT inferior a 0,20%. No entanto, ao validar o modelo em amostras independentes, o modelo apresentou baixo desempenho de

predição, sendo sugerido pelos autores a adoção de outros parâmetros mais apropriados para avaliação de qualidade em mangas.

Praiphui e Kielar (2023), ao realizarem uma análise comparativa dos espectrômetros Scio, Linksquare, DLP NIRScan Nano e Neospectra em diferentes faixas espectrais, também obtiveram modelos de baixa qualidade para determinação de AT em mangas 'Nam Dok Mai'. Para o dispositivo Scio, o  $R^2_{vc}$  obtido foi de 0,49 e RMSECV de 0,75%. Para o Linksquare, o  $R^2_{vc}$  obtido foi de 0,79 e RMSECV de 0,58%. Para o equipamento DLP NIRScan Nano, o  $R^2_{vc}$  obtido foi de 0,38 e RMSECV de 0,98%. Por fim, para o equipamento Neospectra, o  $R^2_{vc}$  obtido foi de 0,16 e RMSECV de 1,16%.

Por outro lado, os modelos preditivos desenvolvidos para MS foram os mais satisfatórios para todos os equipamentos (Tabela 11). Os valores de RMSECVr variaram de 5,94 (F-750) a 9,38 (Tellspec) e  $R^2_{vc}$  variou de 0,48 (Tellspec) a 0,75 (F-750). O desenvolvimento de modelos preditivos de alta qualidade para MS em mangas é bastante reportado na literatura (Saranwong; Kawano, 2007; Marques et al., 2016; Dos Santos Neto et al., 2017; Nordey et al., 2017; Anderson et al., 2020; Praiphui; Kielar, 2023). De modo geral, o desempenho relatado na literatura para modelos de MS em mangas e os obtidos no presente trabalho foram bastante parecidos.

Dos Santos Neto et al. (2017) relataram a construção de um modelo preditivo de MS através de espectros aferidos com o espectrômetro F-750 operando na faixa espectral de 699 – 981 nm, e faixa de MS de 11,3 a 22,1% para a construção do modelo. O  $R^2_{vc}$  obtido foi de 0,84, RMSECV de 0,88% e RMSECVr em torno de 5,68%. Posteriormente, Dos Santos Neto et al. (2019) reportaram o desenvolvimento de um modelo de MS ainda para mangas 'Palmer' com  $R^2_{cal}$  de 0,70, RMSEC de 1,22%,  $R^2_{vc}$  de 0,63 e RMSECV de 1,38%.

Em relação ao valor de  $R^2_{vc}$  mais baixo encontrado no presente estudo, especialmente para os espectrômetros Tellspec e FieldSpec 3, é possível que a remoção de *outliers* do conjunto de dados de calibração tenha deixado a faixa mais restrita para os valores de MS (Tabela 11), em comparação com os estudos anteriores, e assim, tenha contribuído negativamente para o valor resultante desse parâmetro, como também observado por Marques et al. (2016).

Além disso, os trabalhos citados utilizaram como dados de referências valores de MS (além dos outros parâmetros físico-químicos) determinados destrutivamente ao longo da maturação das mangas e/ou de frutas produzidas em locais diferentes, o

que foge do escopo deste capítulo, que foi de construir modelos de calibração para os parâmetros de qualidade das mangas na colheita e assim comparar a precisão dos equipamentos utilizados para essa finalidade.

Nas figuras 12,13,14,15,16,17 e 18 estão graficamente representadas as relações entre os dados de referência obtidos e os valores preditos pelos modelos de calibração para cada parâmetro em cada equipamento, onde percebe-se, de modo geral, que a dispersão dos conjuntos de calibração (círculos pretos) e validação cruzada (círculos cinzas) não apresentaram diferença expressiva entre si.

**Tabela 5** - Parâmetros dos modelos de calibração multivariadas desenvolvidos por regressão PLS para a determinação de luminosidade da polpa (L) de mangas 'Palmer', utilizando os espectrômetros F-750, Scio, Tellspec e FieldSpec 3.

<b>Espectrômetro</b>	<b>N<sup>a</sup></b>	<b>Faixa (Valor Médio)</b>	<b>PP<sup>b</sup></b>	<b>VL<sup>c</sup></b>	<b>Outliers<sup>d</sup></b>	<b>R<sup>2</sup><sub>cal</sub></b>	<b>RMSEC*</b>	<b>R<sup>2</sup><sub>vc</sub></b>	<b>RMSECV**</b>	<b>RMSECVr (%)***</b>
<b>F-750</b>	386	50,37 – 89,17 (80,12)	OSC <sup>1</sup>	2	20	0,33	4,49	0,24	4,79	5,98
<b>Scio</b>	398	52,21 – 89,17 (79,92)	OSC	1	8	0,14	5,26	0,13	5,29	6,62
<b>Tellspec</b>	394	52,88 – 89,17 (80,18)	OSC	2	12	0,27	4,45	0,23	4,6	5,74
<b>FieldSpec 3</b>	392	50,37 – 98,78 (80,21)	OSC	3	14	0,36	4,32	0,27	4,62	5,76

<sup>a</sup>Número de amostras analisadas. <sup>b</sup>Pré-processamento dos dados espectrais. <sup>c</sup>Número de fatores ou variáveis latentes. <sup>d</sup>Outliers sempre <5% do total de amostras analisadas. \*Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático da Calibração. \*\*Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático de validação cruzada. \*\*\*Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático de Validação Cruzada Relativo, calculado em relação ao valor médio da faixa do parâmetro de qualidade avaliado.<sup>1</sup>Pré-tratamento registrado: Transformação Ortogonal de Correção de Sinal.

**Tabela 6** - Parâmetros dos modelos de calibração multivariadas desenvolvidos por regressão PLS para a determinação de cromaticidade da polpa (C) de mangas 'Palmer', utilizando os espectrômetros F-750, Scio, Tellspec e FieldSpec 3.

<b>Espectrômetro</b>	<b>N<sup>a</sup></b>	<b>Faixa (Valor Médio)</b>	<b>PP<sup>b</sup></b>	<b>VL<sup>c</sup></b>	<b>Outliers<sup>d</sup></b>	<b>R<sup>2</sup><sub>cal</sub></b>	<b>RMSEC*</b>	<b>R<sup>2</sup><sub>vc</sub></b>	<b>RMSECV**</b>	<b>RMSECVr (%)***</b>
<b>F-750</b>	400	20,81 – 82,07 (45,76)	OSC <sup>1</sup>	2	6	0,45	6,94	0,39	7,32	16,0
<b>Scio</b>	389	20,81 – 74,81 (45,58)	OSC	1	17	0,35	7,34	0,35	7,37	16,17
<b>Tellspec</b>	393	20,81 – 82,07 (45,86)	OSC	1	13	0,40	7,26	0,40	7,30	15,92
<b>FieldSpec 3</b>	386	20,81 – 82,07 (45,62)	OSC	6	20	0,45	6,71	0,37	7,24	15,87

<sup>a</sup>Número de amostras analisadas. <sup>b</sup>Pré-processamento dos dados espectrais. <sup>c</sup>Número de fatores ou variáveis latentes. <sup>d</sup>Outliers sempre <5% do total de amostras analisadas. \*Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático da Calibração. \*\*Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático de validação cruzada. \*\*\*Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático de Validação Cruzada Relativo, calculado em relação ao valor médio da faixa do parâmetro de qualidade avaliado.<sup>1</sup>Pré-tratamento registrado: Transformação Ortogonal de Correção de Sinal.

**Tabela 7** - Parâmetros dos modelos de calibração multivariadas desenvolvidos por regressão PLS para a determinação de ângulo *hue* da polpa (h) de mangas 'Palmer', utilizando os espectrômetros F-750, Scio, Telspec e FieldSpec 3.

Espectrômetro	N <sup>a</sup>	Faixa (Valor Médio)	PP <sup>b</sup>	VL <sup>c</sup>	Outliers <sup>d</sup>	R <sup>2</sup> <sub>cal</sub>	RMSEC*	R <sup>2</sup> <sub>vc</sub>	RMSECV**	RMSECVr (%)***
<b>F-750</b>	393	82,15 – 112,68 (101,17)	OSC <sup>1</sup>	2	13	0,54	3,47	0,49	3,66	3,62
<b>Scio</b>	394	82,15 – 112,68 (101,09)	OSC	4	12	0,36	4,07	0,29	4,29	4,24
<b>Telspec</b>	389	80,68 – 112,68 (100,97)	OSC	1	17	0,42	4,02	0,42	4,04	4,00
<b>FieldSpec 3</b>	398	80,68 – 112,68 (101,00)	OSC	10	8	0,63	3,23	0,50	3,77	3,73

<sup>a</sup>Número de amostras analisadas. <sup>b</sup>Pré-processamento dos dados espectrais. <sup>c</sup>Número de fatores ou variáveis latentes. <sup>d</sup>Outliers sempre <5% do total de amostras analisadas. \*Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático da Calibração. \*\*Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático de validação cruzada. \*\*\*Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático de Validação Cruzada Relativo, calculado em relação ao valor médio da faixa do parâmetro de qualidade avaliado.<sup>1</sup>Pré-tratamento registrado: Transformação Ortogonal de Correção de Sinal.

**Tabela 8** - Parâmetros dos modelos de calibração multivariadas desenvolvidos por regressão PLS para a determinação de firmeza da polpa (FP) de mangas 'Palmer', utilizando os espectrômetros F-750, Scio, Tellspec e FieldSpec 3.

Espectrômetro	N <sup>a</sup>	Faixa (Valor Médio) Kg	PP <sup>b</sup>	VL <sup>c</sup>	Outliers <sup>d</sup>	R <sup>2</sup> <sub>cal</sub>	RMSEC*	R <sup>2</sup> <sub>vc</sub>	RMSECV**	RMSECVr (%)***
<b>F-750</b>	388	0,6 – 10,2 (5,47)	OSC <sup>1</sup>	2	18	0,51	1,31	0,46	1,37	25,05
<b>Scio</b>	391	0,6 – 9,4 (5,5)	OSC	1	15	0,25	1,61	0,24	1,62	29,45
<b>Tellspec</b>	388	0,6 – 9,5 (5,53)	OSC	1	18	0,41	1,41	0,40	1,42	25,68
<b>FieldSpec 3</b>	392	0,6 – 10,2 (5,58)	OSC	6	14	0,30	1,50	0,26	1,55	27,78

<sup>a</sup>Número de amostras analisadas. <sup>b</sup>Pré-processamento dos dados espectrais. <sup>c</sup>Número de fatores ou variáveis latentes. <sup>d</sup>Outliers sempre <5% do total de amostras analisadas. \*Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático da Calibração. \*\*Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático de validação cruzada. \*\*\*Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático de Validação Cruzada Relativo, calculado em relação ao valor médio da faixa do parâmetro de qualidade avaliado.<sup>1</sup>Pré-tratamento registrado: Transformação Ortogonal de Correção de Sinal.

**Tabela 9** - Parâmetros dos modelos de calibração multivariadas desenvolvidos por regressão PLS para a determinação de sólidos solúveis (SS) de mangas 'Palmer', utilizando os espectrômetros F-750, Scio, Tellspec e FieldSpec 3.

<b>Espectrômetro</b>	<b>N<sup>a</sup></b>	<b>Faixa (Valor Médio) %</b>	<b>PP<sup>b</sup></b>	<b>VL<sup>c</sup></b>	<b>Outliers<sup>d</sup></b>	<b>R<sup>2</sup><sub>cal</sub></b>	<b>RMSEC*</b>	<b>R<sup>2</sup><sub>vc</sub></b>	<b>RMSECV**</b>	<b>RMSECVr (%)***</b>
<b>F-750</b>	388	4,2 – 11,1 (7,11)	Drv1 <sup>1</sup>	5	18	0,31	0,99	0,28	1,02	14,35
<b>Scio</b>	398	4,2 – 10,9 (7,14)	Drv2 <sup>2</sup>	8	8	0,38	0,96	0,25	1,06	14,85
<b>Tellspec</b>	391	4,2 – 10,9 (7,10)	-	8	15	0,31	0,99	0,19	1,07	15,07
<b>FieldSpec 3</b>	386	4,6 – 10,7 (7,10)	Drv1	7	20	0,54	0,78	0,27	0,98	13,80

<sup>a</sup>Número de amostras analisadas. <sup>b</sup>Pré-processamento dos dados espectrais. <sup>c</sup>Número de fatores ou variáveis latentes. <sup>d</sup>Outliers sempre <5% do total de amostras analisadas. \*Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático da Calibração. \*\*Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático de validação cruzada. \*\*\*Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático de Validação Cruzada Relativo, calculado em relação ao valor médio da faixa do parâmetro de qualidade avaliado. <sup>1</sup>Pré-tratamento registrado: 1<sup>a</sup> derivada com filtro de Savitzky-Golay. <sup>2</sup>Pré-tratamento registrado: 2<sup>a</sup> derivada com filtro de Savitzky-Golay.

**Tabela 10** - Parâmetros dos modelos de calibração multivariadas desenvolvidos por regressão PLS para a determinação de acidez titulável (AT) de mangas 'Palmer', utilizando os espectrômetros F-750, Scio, Telspec e FieldSpec 3.

Espectrômetro	N <sup>a</sup>	Faixa (Valor Médio) %Hac.	PP <sup>b</sup>	VL <sup>c</sup>	Outliers <sup>d</sup>	R <sup>2</sup> <sub>cal</sub>	RMSEC*	R <sup>2</sup> <sub>vc</sub>	RMSECV**	RMSECVr (%)***
<b>F-750</b>	389	0,16 – 1,44 (0,75)	SNV <sup>1</sup>	10	17	0,31	0,21	0,23	0,23	30,67
<b>Scio</b>	390	0,1 – 1,38 (0,74)	Drv2 <sup>2</sup>	3	16	0,21	0,23	0,16	0,24	32,43
<b>Telspec</b>	406	0,1 – 1,67 (0,74)	-	8	-	0,21	0,25	0,10	0,26	35,14
<b>FieldSpec 3</b>	394	0,18 – 1,44 (0,75)	-	10	12	0,30	0,22	0,20	0,23	30,67

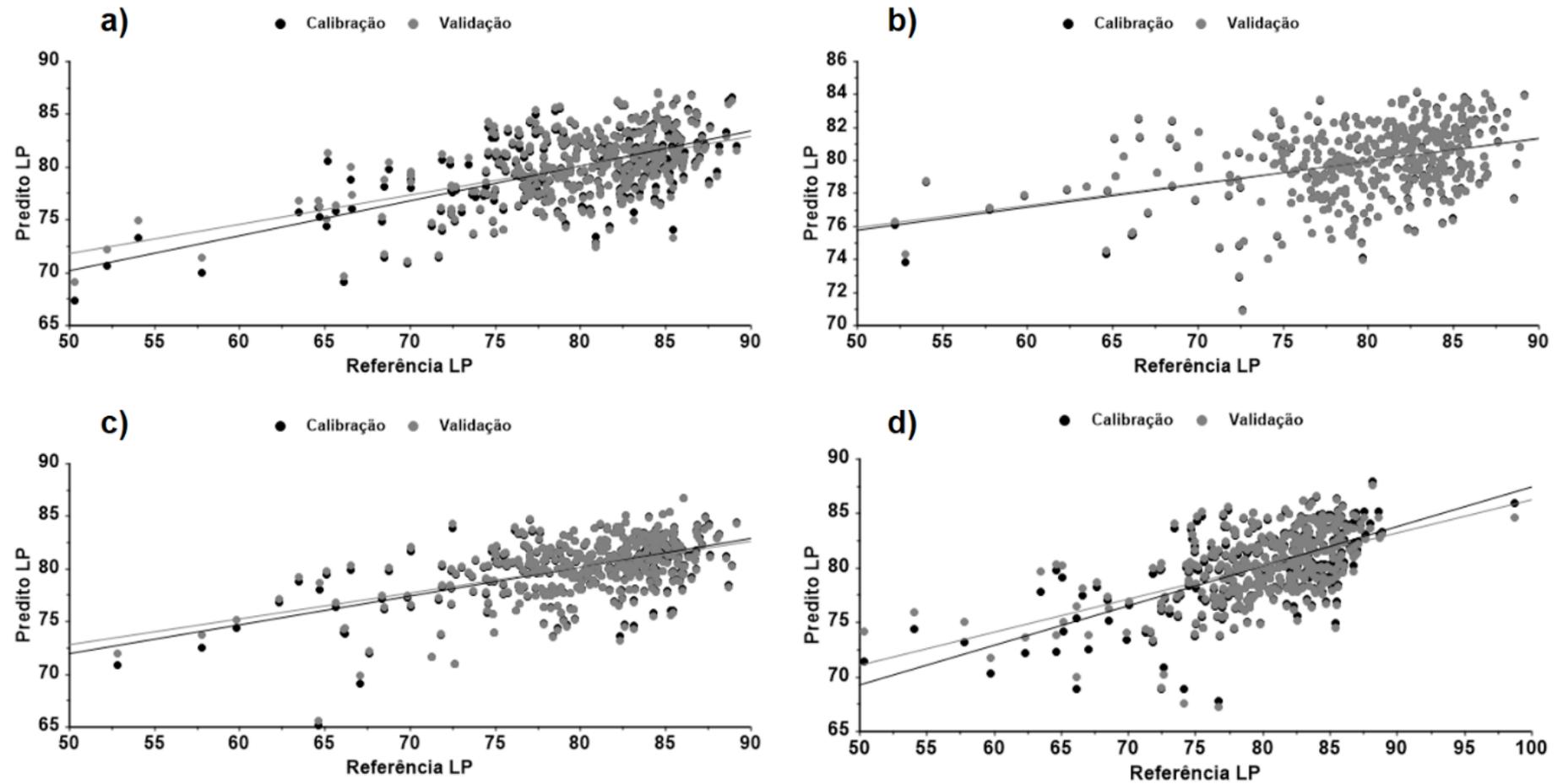
<sup>a</sup>Número de amostras analisadas. <sup>b</sup>Pré-processamento dos dados espectrais. <sup>c</sup>Número de fatores ou variáveis latentes. <sup>d</sup>Outliers sempre <5% do total de amostras analisadas. \*Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático da Calibração. \*\*Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático de validação cruzada. \*\*\*Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático de Validação Cruzada Relativo, calculado em relação ao valor médio da faixa do parâmetro de qualidade avaliado. <sup>1</sup>Pré-tratamento registrado: Variação normal padrão. <sup>2</sup>Pré-tratamento registrado: 2<sup>a</sup> derivada com filtro de Savitzky-Golay.

**Tabela 11** - Parâmetros dos modelos de calibração multivariadas desenvolvidos por regressão PLS para a determinação de matéria seca (MS) de mangas 'Palmer', utilizando os espectrômetros F-750, Scio, Tellspec e FieldSpec 3.

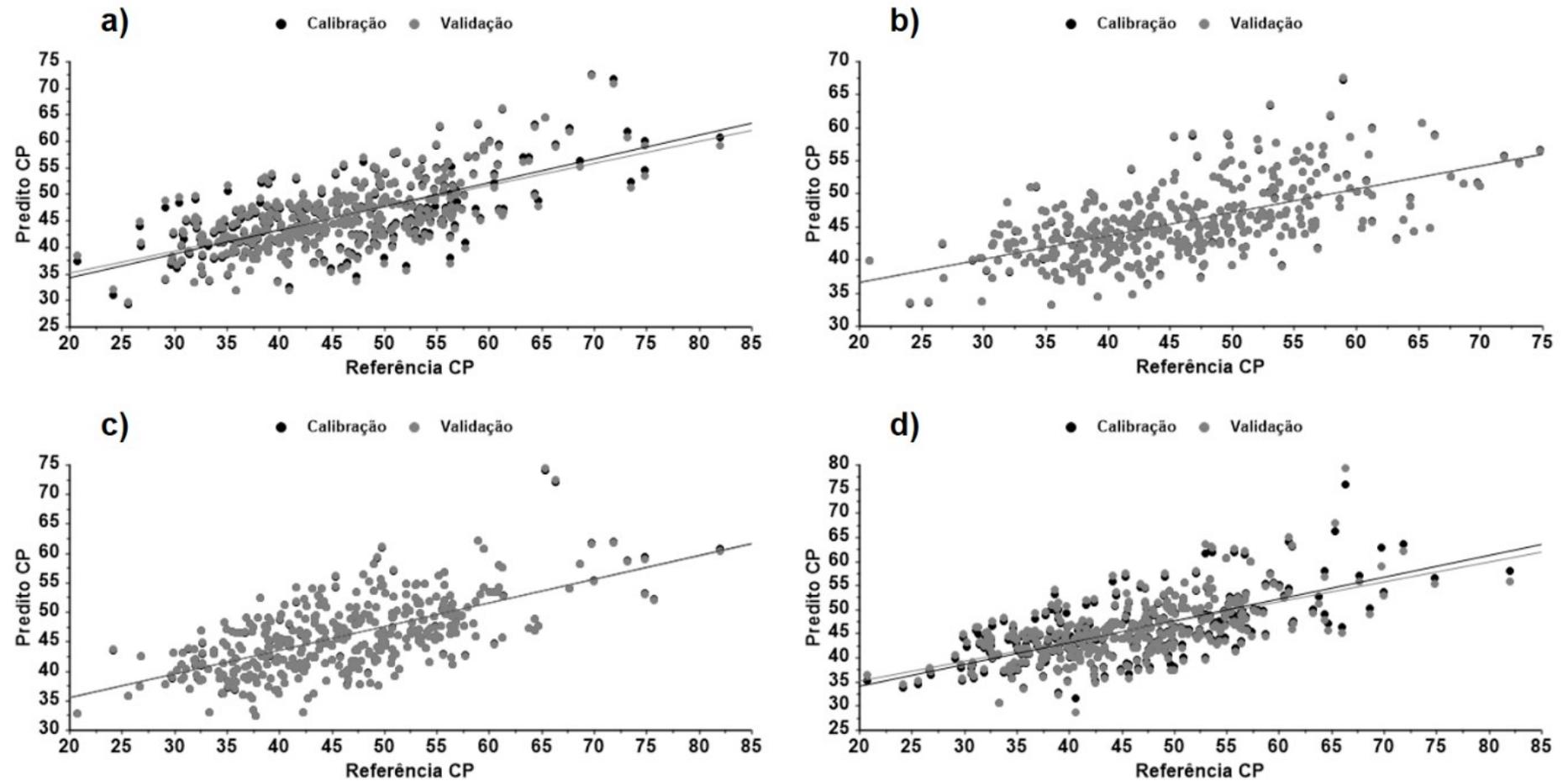
<b>Espectrômetro</b>	<b>N<sup>a</sup></b>	<b>Faixa (Valor Médio) %</b>	<b>PP<sup>b</sup></b>	<b>VL<sup>c</sup></b>	<b>Outliers<sup>d</sup></b>	<b>R<sup>2</sup><sub>cal</sub></b>	<b>RMSEC*</b>	<b>R<sup>2</sup><sub>vc</sub></b>	<b>RMSECV**</b>	<b>RMSECVr (%)***</b>
<b>F-750</b>	389	10,97 – 20,55 (15,99)	-	9	8	0,76	0,93	0,75	0,95	5,94
<b>Scio</b>	384	11,81 – 20,55 (15,97)	Drv2 <sup>1</sup>	9	13	0,71	1,01	0,63	1,13	7,08
<b>Tellspec</b>	383	12,12 – 20,55 (15,99)	-	7	14	0,54	1,26	0,48	1,34	8,38
<b>FieldSpec 3</b>	379	12,12 – 20,55 (15,99)	Drv1 <sup>2</sup>	7	18	0,71	0,98	0,54	1,24	7,75

<sup>a</sup>Número de amostras analisadas. <sup>b</sup>Pré-processamento dos dados espectrais. <sup>c</sup>Número de fatores ou variáveis latentes. <sup>d</sup>Outliers sempre <5% do total de amostras analisadas. \*Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático da Calibração. \*\*Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático de validação cruzada. \*\*\*Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático de Validação Cruzada Relativo, calculado em relação ao valor médio da faixa do parâmetro de qualidade avaliado. <sup>1</sup>Pré-tratamento registrado: 2<sup>a</sup> derivada com filtro de Savitzky-Golay. <sup>2</sup>Pré-tratamento registrado: 1<sup>a</sup> derivada com filtro de Savitzky-Golay.

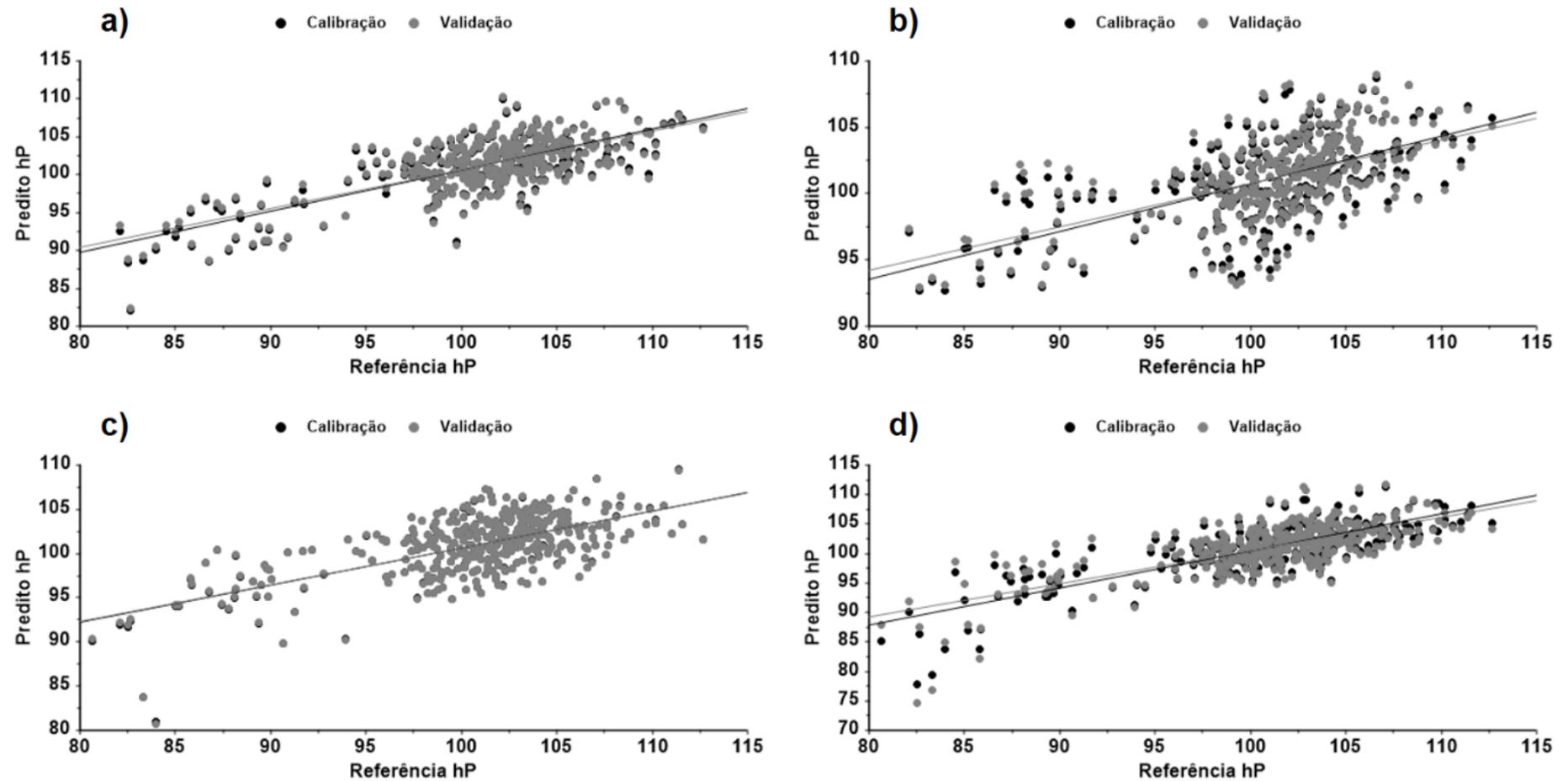
**Figura 12** - Luminosidade da polpa (LP) de mangas ‘Palmer’ determinada com métodos de referência e preditos com o uso dos espectrômetros: a) F-750, b) Scio, c) Telspec e d) FieldSpec 3. Modelos desenvolvidos por calibração multivariada (regressão por PLS). Dados de calibração (círculos pretos) e dados de validação cruzada (círculos cinzas). As linhas sólidas representam as retas de regressão.



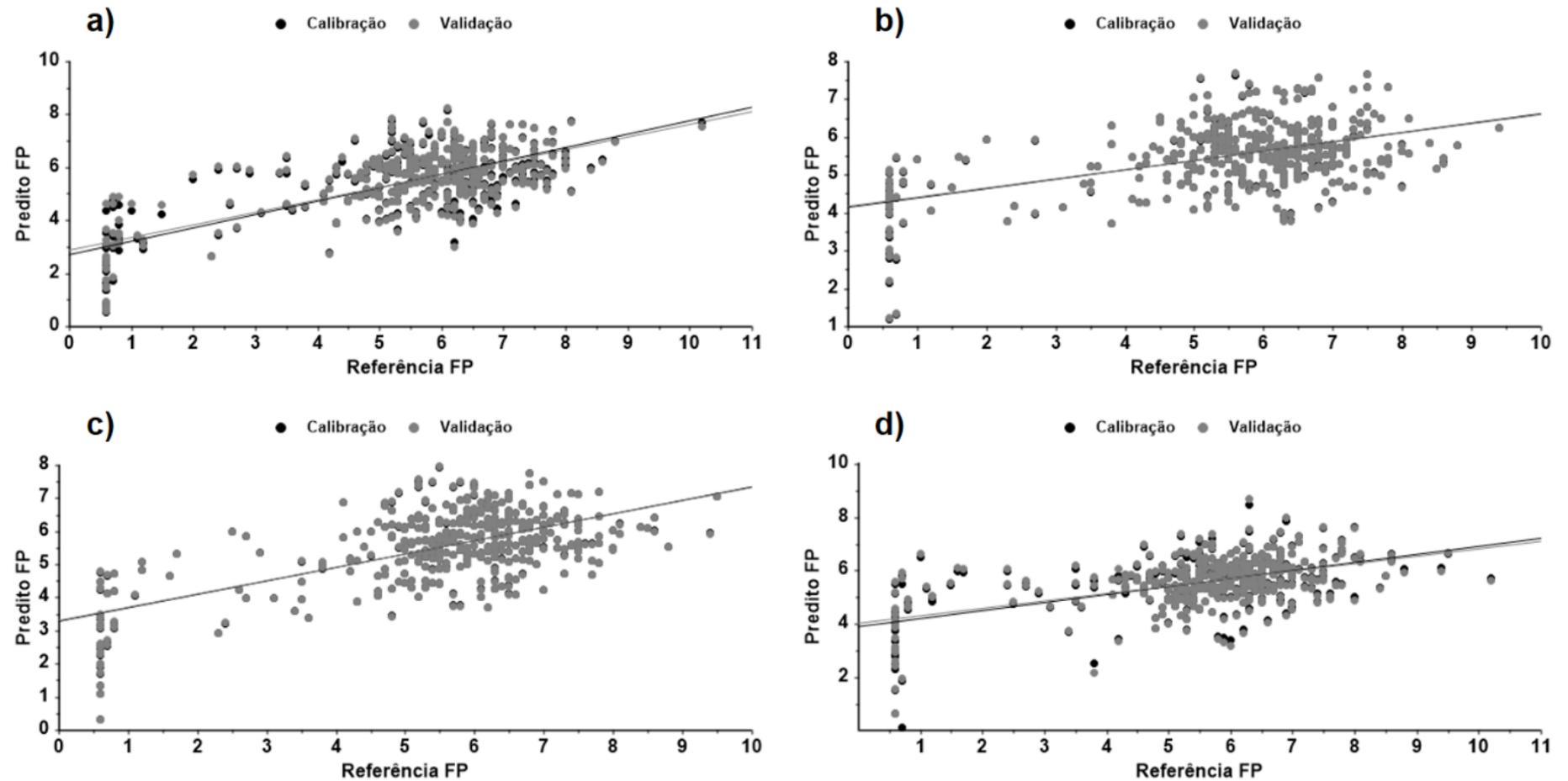
**Figura 13** - Cromaticidade da polpa (CP) de mangas ‘Palmer’ determinada com métodos de referência e preditos com o uso dos espectrômetros: a) F-750, b) Scio, c) Telspec e d) FieldSpec 3. Modelos desenvolvidos por calibração multivariada (regressão por PLS). Dados de calibração (círculos pretos) e dados de validação cruzada (círculos cinzas). As linhas sólidas representam as retas de regressão.



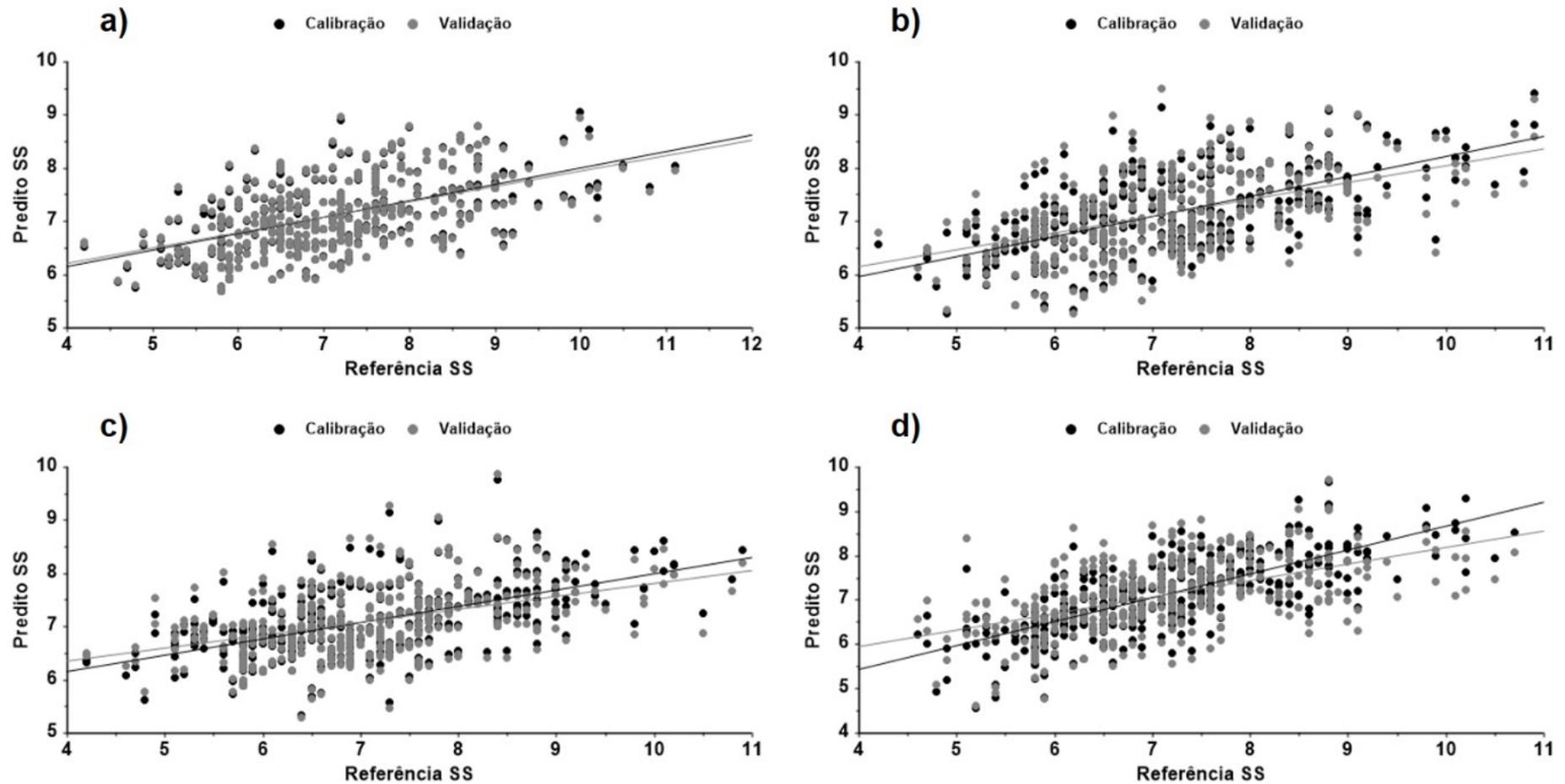
**Figura 14** - Ângulo hue da polpa (hP) de mangas ‘Palmer’ determinado com métodos de referência e preditos com o uso dos espectrômetros: a) F-750, b) Scio, c) Tellspec e d) FieldSpec 3. Modelos desenvolvidos por calibração multivariada (regressão por PLS). Dados de calibração (círculos pretos) e dados de validação cruzada (círculos cinzas). As linhas sólidas representam as retas de regressão.



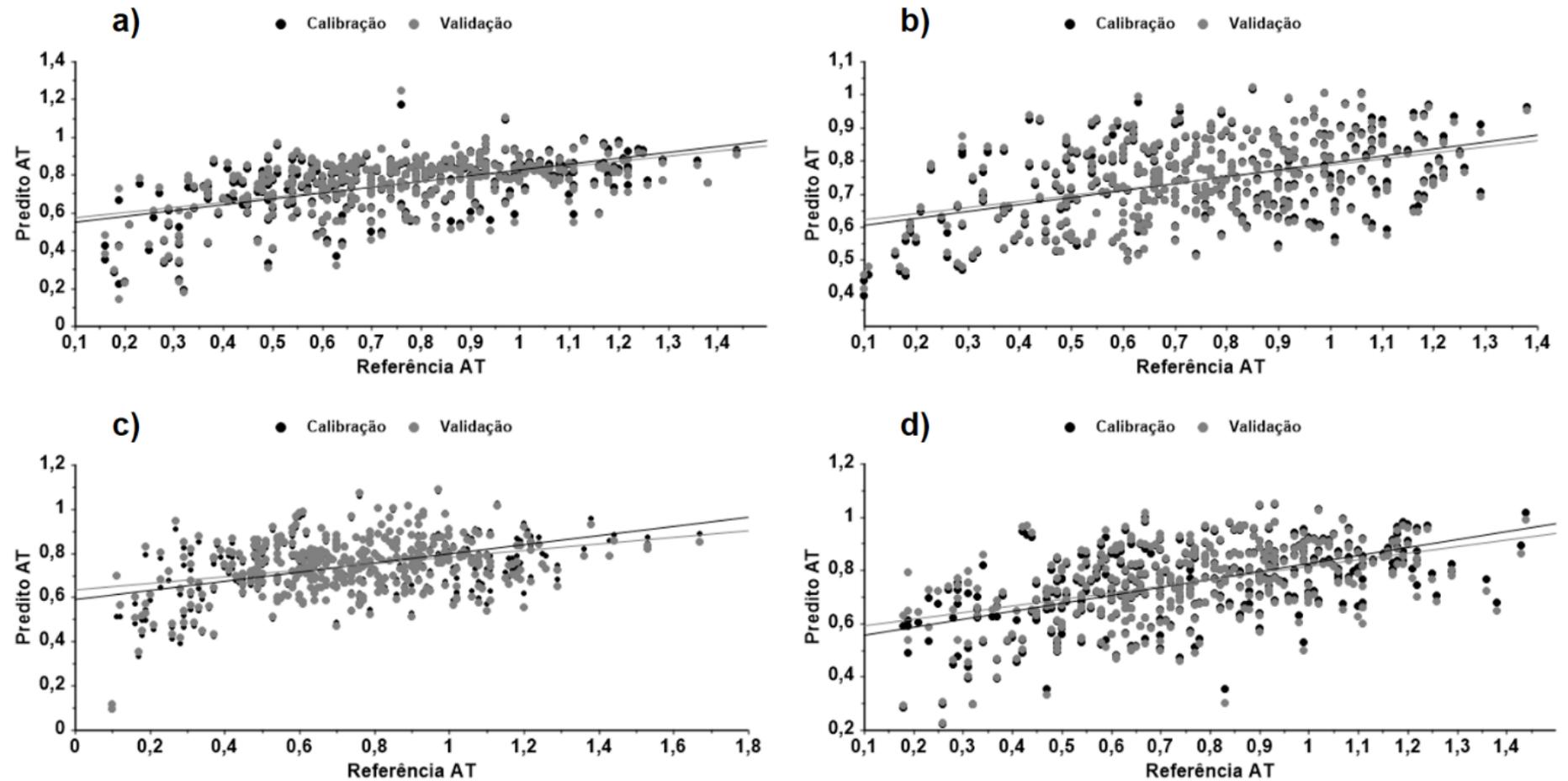
**Figura 15** - Firmeza da polpa (FP) de mangas ‘Palmer’ determinada com métodos de referência e preditos com o uso dos espectrômetros: a) F-750, b) Scio, c) Tallspec e d) FieldSpec 3. Modelos desenvolvidos por calibração multivariada (regressão por PLS). Dados de calibração (círculos pretos) e dados de validação cruzada (círculos cinzas). As linhas sólidas representam as retas de regressão.



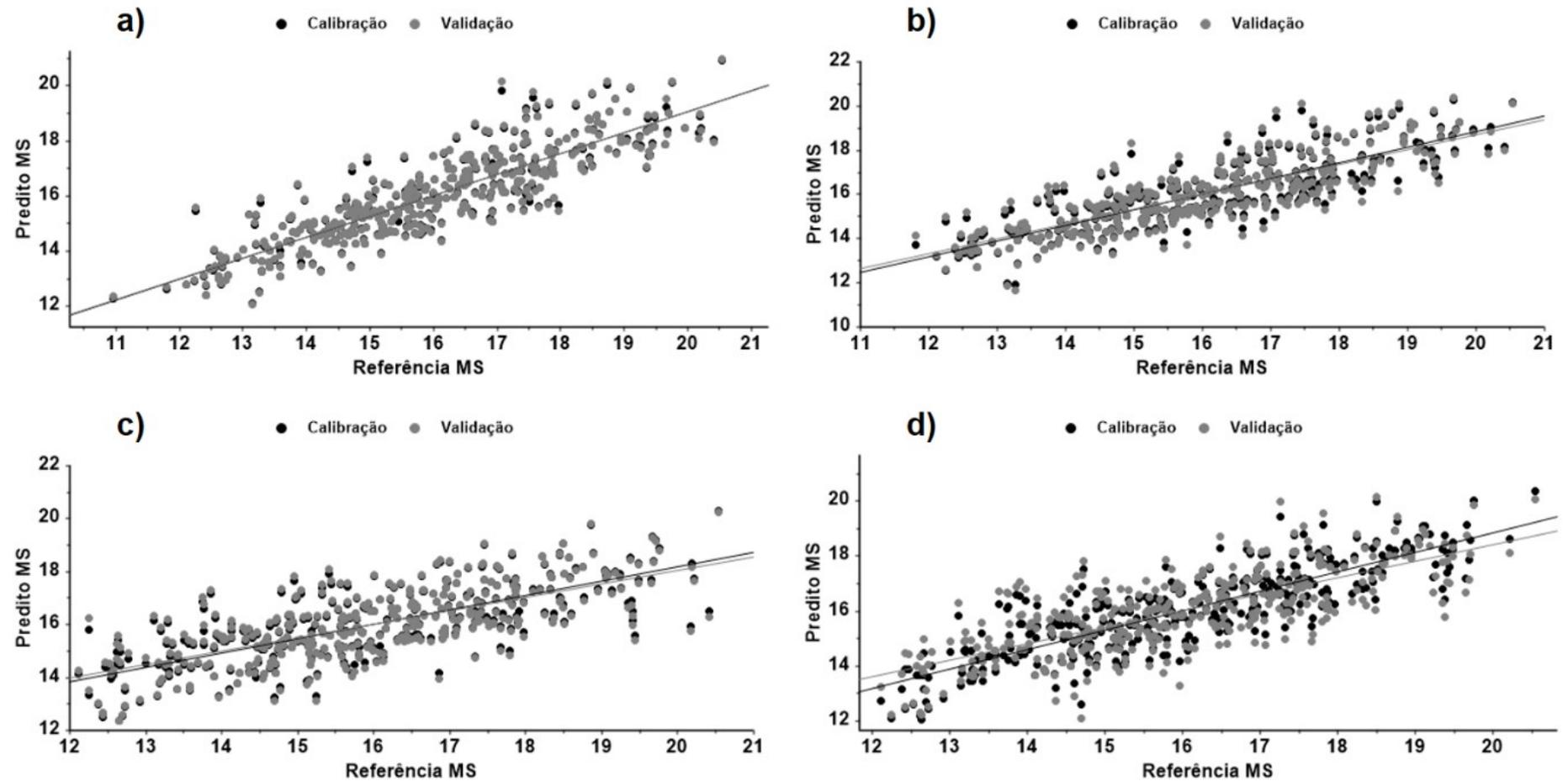
**Figura 16** - Sólidos solúveis (SS) de mangas 'Palmer' determinados com métodos de referência e preditos com o uso dos espectrômetros: a) F-750, b) Scio, c) Telspec e d) FieldSpec 3. Modelos desenvolvidos por calibração multivariada (regressão por PLS). Dados de calibração (círculos pretos) e dados de validação cruzada (círculos cinzas). As linhas sólidas representam as retas de regressão.



**Figura 17** - Acidez titulável (AT) de mangas 'Palmer' determinada com métodos de referência e preditos com o uso dos espectrômetros: a) F-750, b) Scio, c) Telspec e d) FieldSpec 3. Modelos desenvolvidos por calibração multivariada (regressão por PLS). Dados de calibração (círculos pretos) e dados de validação cruzada (círculos cinzas). As linhas sólidas representam as retas de regressão.



**Figura 18** - Matéria seca (MS) de mangas 'Palmer' determinada com métodos de referência e preditos com o uso dos espectrômetros: a) F-750, b) Scio, c) Telspec e d) FieldSpec 3. Modelos desenvolvidos por calibração multivariada (regressão por PLS). Dados de calibração (círculos pretos) e dados de validação cruzada (círculos cinzas). As linhas sólidas representam as retas de regressão.



#### 4.3.1.4 Comparação e recomendação do espectrômetro Vis-NIR de melhor desempenho para mangas 'Palmer'

A partir dos resultados obtidos, é possível concluir inicialmente que os modelos preditivos construídos para o parâmetro C (cor da polpa), FP, SS e AT (Tabelas 6, 8, 9 e 10, respectivamente) não apresentaram poder preditivo satisfatório, visto que registraram valores elevados de RMSECV em relação à faixa utilizada de cada parâmetro de calibração ( $RMSECV_r > 10\%$ ), tornando a aplicação prática dos modelos inviável. Por outro lado, os modelos preditivos de cor da polpa (L e h) e MS (Tabelas 5, 7 e 11, respectivamente) apresentaram desempenho satisfatório ( $RMSECV_r \leq 10\%$ ), sendo viáveis para utilização na análise de qualidade de mangas 'Palmer'.

No entanto, para os modelos que obtiveram desempenho satisfatório, é necessária ainda uma análise individual dos valores de  $R^2_{cal}$  e  $R^2_{vc}$ , visto que este parâmetro indica quão bom pode ser o ajuste esperado para previsões futuras, sendo um valor próximo de 1 indicativo de um modelo com bom ajuste (CAMO, Oslo, Noruega).

Recentemente, Praiphui e Kielar (2023) realizaram uma análise comparativa da performance dos espectrômetros Scio, Linksquare, DLP NIRScan Nano e Neospectra em diferentes faixas espectrais para avaliação de atributos de qualidade em mangas 'Nam Dok Mai'. A avaliação da performance dos modelos preditivos ocorreu através de comparações entre os valores de  $R^2_{cal}$  para cada parâmetro em cada equipamento, sendo considerados de boa qualidade quando apresentaram esse parâmetro com valor acima de 0,80 (Tabela 12).

Para MS e SS, os modelos considerados de boa qualidade foram utilizando os equipamentos Scio e Linksquare, sendo a qualidade dos modelos atribuída à adequação das faixas espectrais em que os dispositivos operam. Para AT, o modelo considerado adequado foi para o Linksquare operando no modo visível. Para FP, todos os modelos foram considerados de baixa qualidade. Por fim, o desempenho do aparelho Neospectra, de modo geral, foi considerado melhor que o do espectrômetro DLP NIRScan (Praiphui; Kielar, 2023). No entanto, na literatura ainda faltam mais informações acerca da comparação do desempenho e recomendação de diferentes espectrômetros para avaliação de qualidade em mangas.

Para o presente trabalho, de fato, apenas os modelos de MS apresentaram valores de  $R^2_{cal}$  acima de 0,70, com exceção do modelo construído para o Tellspec.

Marques e Freitas (2020) compararam a performance dos espectrômetros F-750, Scio e Telspec para avaliação da qualidade de umbus, com modelos apresentando variação de  $R^2_{vc}$  entre 0,68 (Telspec) a 0,81 (F-750) para MS; 0,61 (Telspec) a 0,75 (F-750) para SS; 0,67 (Telspec) a 0,69 (F-750) para FP e 0,31 (Telspec) a 0,68 (F-750) para CP (L). No entanto, não houve diferença estatística significativa para a performance dos dispositivos, porém houve um adendo para o Telspec, que opera em maior comprimento de onda, e dessa forma, apresentou menor penetração da radiação NIR na polpa do genótipo G-1 de umbu, que possui casca (epicarpo) mais espesso, o que pode resultar em menor extração de informações físicas e químicas da amostra e levar à construção de modelos de calibração com capacidade preditiva inadequada. Estudos mais detalhados ainda são necessários para atestar a adequada eficiência do Telspec em mangas, visto que ainda não existem relatos na literatura acerca da adequada eficiência do aparelho para a cultura. Além disso, o desempenho da espectroscopia Vis-NIR como ferramenta para avaliação da qualidade em mangas depende de fatores como variedade da fruta, composição e espessura da casca, condições de cultivo, entre outros fatores, sendo que a precisão dos modelos pode ser aumentada com a inclusão de amostras de frutas que representem diferentes condições de uso dos espectrômetros Vis-NIR (Freitas; Marques, 2022; Aline et al., 2023).

Beć, Grabska e Huck (2022) apontaram que o Telspec e Scio são dispositivos de baixo custo que cobrem faixas de comprimento de onda Vis-NIR altamente complementares, e assim, sugeriram uma agregação dos dados aferidos pelos sensores dos aparelhos para aumentar a precisão e a confiabilidade de uma análise.

A utilização do espectrômetro F-750 para a predição de qualidade em mangas, inclusive em 'Palmer', é bem relatada, sendo um aparelho utilizado como referência para diversos estudos (Dos Santos Neto et al., 2017; Dos Santos Neto et al., 2019; Mishra; Woltering; El Harchioui, 2020; Shah et al., 2020; Freitas et al., 2022). Também existem relatos para o FieldSpec 3 (Yahaya et al., 2015a; Yahaya et al., 2015b) para avaliação da qualidade em mangas.

Por fim, o espectrômetro recomendado para avaliação da qualidade em mangas 'Palmer' é o F-750, especialmente para análise de MS. Além disso, dentre os espectrômetros analisados, o F-750 é o que mais se ajusta à rotina de utilização na agroindústria da manga, visto que possui uma leitura rápida de amostras (~5 segundos), pesa 1,05 kg e não necessita de internet e computador auxiliar para

realizar as leituras. O Scio e Tellspec apesar de serem miniaturizados (< 150 g), apresentam algumas limitações. O Scio necessita de internet para gerar e armazenar os dados em um aplicativo disponível para os sistemas iOS e Android, além de necessitar também de conexão via Bluetooth. O Tellspec necessita de um computador auxiliar e cabo USB. Por fim, as principais limitações do FieldSpec 3 são o peso do aparelho (~5,2 Kg) e a necessidade de computador auxiliar para realização das leituras. Dessa forma, a utilização desses aparelhos em campo pode se tornar mais limitada quando comparados ao F-750.

**Tabela 12** – Comparação de desempenho dos modelos preditivos (Valores de  $R^2_{cal}$  e  $R^2_{vc}$  entre parênteses) de parâmetros de qualidade em mangas em diferentes equipamentos relatados na literatura e neste trabalho. N.A.: Não analisado.

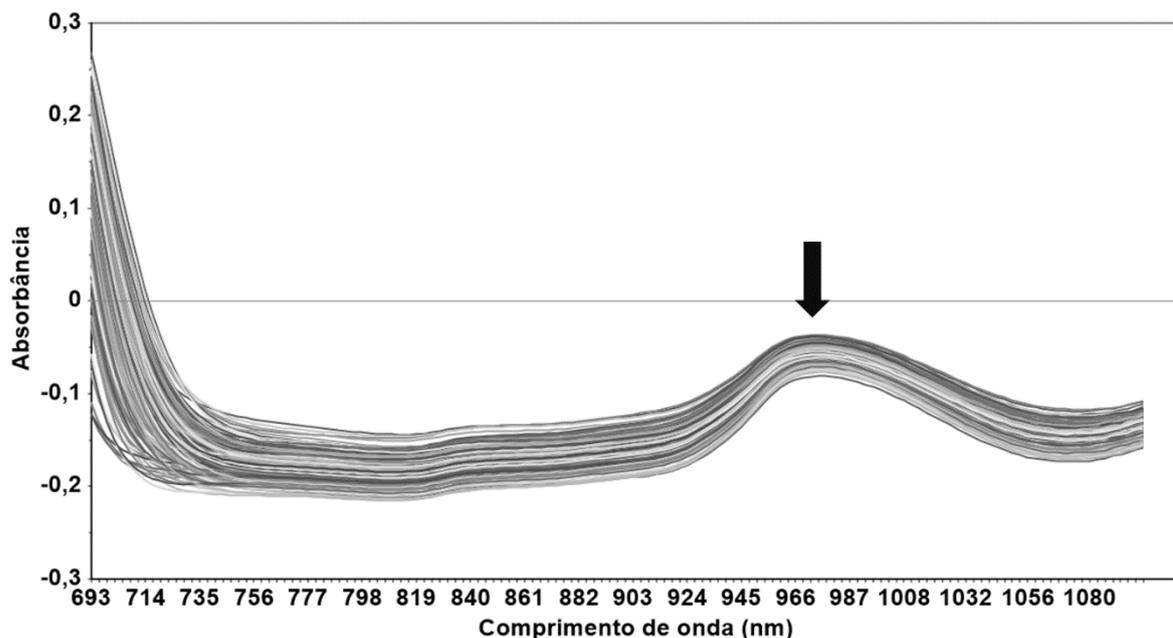
Referência	Espectrômetro	Região (nm)	MS	SS	AT	FP	CP (L)	CP(C)	CP(h)
Praiphui; Kielar (2023)	Scio	740-1070	0,92	0,84	0,50	0,26	N.A.	N.A.	N.A.
	Linksquare (Vis)	400-1000	0,81 (0,64)	0,91 (0,75)	0,91 (0,79)	0,74 (0,37)	N.A.	N.A.	N.A.
	Linksquare (NIR)	700-1050	0,86 (0,62)	0,76 (0,50)	0,85 (0,51)	0,49 (0,31)	N.A.	N.A.	N.A.
	DLP NIRScan	900-1700	0,63 (0,48)	0,66 (0,50)	0,42 (0,38)	0,17 (0,05)	N.A.	N.A.	N.A.
	Neospectra	1300-2500	0,70 (0,57)	0,77 (0,55)	0,42 (0,20)	0,33 (0,18)	N.A.	N.A.	N.A.
Este trabalho	F-750	699-999	0,76 (0,75)	0,31 (0,28)	0,31 (0,23)	0,51 (0,46)	0,33 (0,24)	0,45 (0,39)	0,54 (0,49)
	Scio	750-1050	0,71 (0,63)	0,38 (0,25)	0,21 (0,16)	0,25 (0,24)	0,14 (0,13)	0,35 (0,35)	0,36 (0,29)
	Tellspec	952-1601	0,54 (0,48)	0,31 (0,19)	0,21 (0,10)	0,41 (0,40)	0,27 (0,23)	0,40 (0,40)	0,42 (0,42)
	FieldSpec 3	400-2400	0,71 (0,54)	0,54 (0,27)	0,30 (0,20)	0,30 (0,26)	0,36 (0,27)	0,45 (0,37)	0,63 (0,50)

### 4.3.2 Experimento 2: Desenvolvimento de modelos para a previsão de qualidade de consumo de mangas ‘Palmer’ a partir da qualidade de colheita

#### 4.3.2.1 Identificação de assinaturas espectrais

A faixa espectral registrada pelo espectrômetro F-750 foi de 400 a 1100 nm, porém percebeu-se a presença de regiões espectrais com ruídos, que desta forma, não foram utilizadas. Desse modo, a faixa espectral utilizada para as análises foi de 693 a 852 nm e de 951 a 1100 nm (Figura 19). O pico de absorção centrado aproximadamente em 970 nm pôde ser observado, assim como no experimento 1.

**Figura 19** – Espectros de absorbância (sem pré-processamentos) provenientes de mangas ‘Palmer’ registrados utilizando o espectrômetro F-750. A seta preta indica a banda de absorção de água localizada aproximadamente em 970 nm.



#### 4.3.2.2 Análise de SS e MS nas frutas após o amadurecimento

As mangas foram selecionadas e analisadas à medida em que amadureceram (firmeza de polpa  $\leq 1,53$  Kg) em câmara fria à  $10^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ). O teor de SS das mangas após o amadurecimento variou de 7,9 a 19,9%, com valor médio de 13,69% (Tabela 13), sendo indicativo que a maioria das frutas apresentaram estágio de maturação

entre 4 e 5 no momento da análise, de acordo com escala de maturação comercial para mangas (National Mango Board, 2019). No entanto, cerca de 5,13% das amostras avaliadas apresentaram teor de SS abaixo de 10%, podendo ser classificadas em estágio de maturação entre 3 e 4. É muito comum encontrar mangas com diferentes níveis de maturação em um mesmo lote, além de que fatores como maturidade fisiológica na colheita, transporte e armazenamento influenciam diretamente na qualidade da manga quando estiver pronta para o consumo (National Mango Board, 2010). Para o teor de MS, houve variação de 10,05 a 19,48%, com valor médio de 14,74% (Tabela 13).

**Tabela 13** - Parâmetros estatísticos relacionados aos dados de SS e MS em mangas ‘Palmer’ após o amadurecimento (firmeza de polpa  $\leq 1,53$  Kg).

Parâmetro de qualidade	N <sup>a</sup>	Faixa	Média	DP*	CV (%)**
Sólidos Solúveis (%)	351	7,9 – 19,9	13,69	2,12	15,49
Matéria Seca (%)	351	10,05 – 19,48	14,74	1,83	12,42

<sup>a</sup>Número de amostras analisadas. \*Desvio padrão. \*\*Coeficiente de variação

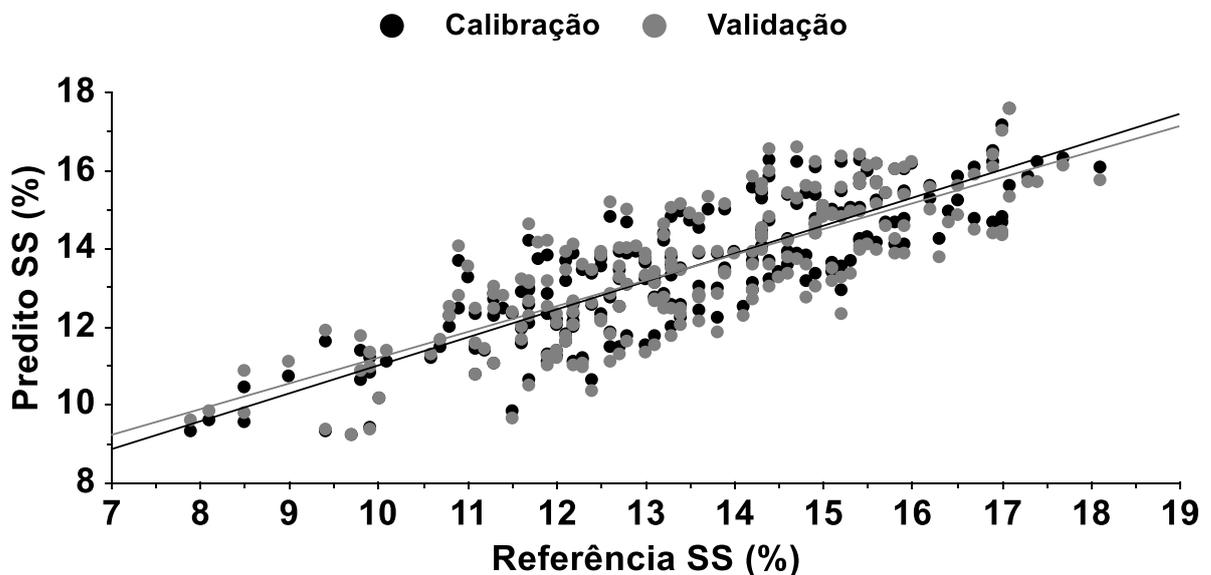
#### 4.3.2.3 Desenvolvimento de modelo preditivo para o teor de SS das frutas após o amadurecimento

O uso de medições de espectros Vis-NIR na colheita para prever o teor de SS das frutas maduras e prontas para o consumo foi satisfatório. O gráfico contendo os valores obtidos pelo método de referência *versus* os valores previstos pelo modelo de calibração é mostrado na Figura 20. O valor de RMSECVr foi de 7,57%, tornando a aplicação prática do modelo viável. Além disso, os valores de  $R^2_{cal}$  e  $R^2_{vc}$  foi de 0,72 e 0,61, respectivamente (Tabela 14).

O resultado encontrado para RMSECV (1,27%) é similar quando comparado ao obtidos por Subedi, Walsh e Owens (2007), que utilizaram uma unidade óptica de interactância “Insight 023137” na faixa de comprimento de onda de 300 a 1150 nm. Para a construção dos modelos foram utilizadas as faixas entre 740-850 nm e 950-1100 nm. O mesmo método foi utilizado para construir o modelo de predição do teor de SS de mangas ‘KP’ e ‘Calypso’ maduras, com valor de RMSECV abaixo de 0,98% (RMSECVr < 10%). Os valores de  $R^2_{cal}$  obtidos foram em torno de 0,90, indicando excelente qualidade dos modelos.

Nordey, Davrieux e Léchaudel (2019) desenvolveram, de mesmo modo, um modelo de predição para SS em mangas 'Cogshall' a partir dos espectros coletados na colheita através do espectrômetro LABSPEC 2500 no modo de refletância, na faixa de 600 a 2300 nm. Para a construção do modelo de SS, foi utilizada a faixa espectral de 1000 a 1200 nm e a região próxima a 1800 nm. A medida NIR feita na colheita em torno de 1000 nm foi considerada a mais importante na predição do teor de SS em mangas maduras, sendo uma região conhecida pelo sobretom de amido a 990 nm. O valor de RMSECV obtido foi de 1,04% e o  $R^2_{cal}$  e  $R^2_{vc}$  não informados. Dessa forma, esta abordagem apresenta a vantagem de no momento da colheita a possibilidade de prever o teor de SS das frutas quando estiverem prontas para o consumo. No entanto, ainda faltam na literatura mais informações sobre esta abordagem para mais cultivares de mangas ou outras frutas.

**Figura 20** – Sólidos solúveis de mangas 'Palmer' maduras (firmeza de polpa  $\leq 1,53$  Kg) determinados com método de referência e preditos com o uso do espectrômetro F-750. \*Modelo desenvolvido por calibração multivariada (regressão por PLS). \*\*Dados de calibração (círculos pretos) e dados de validação cruzada (círculos cinzas).\*\*\*As linhas sólidas representam as retas de regressão.



**Tabela 14** - Parâmetros do modelo de calibração multivariada desenvolvido por regressão PLS para a determinação de sólidos solúveis (SS) em mangas 'Palmer' maduras, utilizando os espectros aferidos pelo dispositivo F-750 na colheita.

<b>Número de amostras analisadas</b>	219
<b>Faixa (valor médio) %</b>	7,9 – 18,10 (13,48)
<b>Pré-processamento dos dados espectrais</b>	Drv1 <sup>1</sup>
<b>Número de fatores ou variáveis latentes</b>	10
<b>R<sup>2</sup><sub>cal</sub></b>	0,72
<b>RMSEC*</b>	1,02
<b>R<sup>2</sup><sub>vc</sub></b>	0,61
<b>RMSECV**</b>	1,27
<b>RMSECVr (%)***</b>	7,57

<sup>1</sup>Pré-tratamento registrado: 1ª derivada com filtro de Savitzky-Golay. \*Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático da Calibração. \*\*Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático de validação cruzada. \*\*\*Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático de Validação Cruzada Relativo, calculado em relação ao valor médio da faixa do parâmetro de qualidade avaliado.

4.3.2.4 Correlações entre os teores de matéria seca determinados de forma não destrutiva em mangas na colheita e o teor de sólidos solúveis e matéria seca determinados de forma destrutiva nas frutas maduras; e matéria seca destrutiva com o teor de sólidos solúveis em frutas maduras

O uso da tecnologia Vis-NIR tem sido proposto como uma abordagem eficiente para determinar parâmetros de qualidade em frutas e hortaliças de forma não destrutiva (Aline et al., 2023). Dessa forma, esta tecnologia possibilita monitorar as mudanças na qualidade das frutas, assim como predizer a qualidade final de consumo de cada fruta durante o amadurecimento (Saranwong; Sornsrivichai; Kawano, 2003; Saranwong; Sornsrivichai; Kawano, 2004; Subedi; Walsh; Owens, 2007; Marques et al., 2016; Nordey; Davrieux; Léchaudel, 2019).

A análise de correlação mostrou que a MS determinada de forma não destrutiva no momento da colheita (MSpred%) se correlacionou fortemente com o teor de SS determinado destrutivamente nas frutas maduras (SSm%) ( $R^2=0,9964$ ; valor-p=

0,0018\*\*) (Tabela 15). Estes resultados indicam que o teor de MS determinado de modo não destrutivo na colheita em mangas ‘Palmer’ é um importante índice para prever a qualidade das frutas prontas para o consumo, que é refletida pelo teor de SS.

Saranwong, Sornsrivichai e Kawano, (2004) demonstraram que a MS e o amido são altamente relacionados com a qualidade de consumo de mangas quando maduras, e assim, estes índices determinados de modo não destrutivo na colheita podem ser utilizados para prever o teor de SS das mangas após o amadurecimento com elevada precisão. De mesmo modo, Nordey, Davrieux e Léchaudel (2019) observaram uma correlação entre a MS predita em mangas ‘Cogshall’ em estágio de maturação fisiológica com os SS das frutas após o amadurecimento, porém, obtendo menor precisão na correlação entre os atributos em comparação ao presente trabalho ( $R^2 = 0,67$ ). Por outro lado, Freitas et al. (2022) obtiveram elevada precisão na correlação entre a MS determinada de forma não destrutiva na colheita com os SS de mangas ‘Palmer’ e ‘Tommy Atkins’ após o amadurecimento ( $R^2=0,92$ ).

**Tabela 15** - Correlações entre MS determinada de forma não destrutiva em frutas na maturação fisiológica de colheita (MSpred%) e MS (MSm%) e SS (SSm%) determinados de forma destrutiva em mangas ‘Palmer’ após o amadurecimento.

Correlação	R <sup>2</sup>	Equação	Valor-p
<b>MSpred% X SSm%</b>	0,9964	SSm% = 0,6194 x MSpred% + 4,3432	0,0018**
<b>MSpred% X MSm%</b>	0,9664	MSm% = 0,7968 x MSpred% + 2,6366	0,0169*
<b>MSm% X SSm%</b>	0,9946	SSm% = 0,7909 x MSm + 2,0681	0,0027**

MSpred%: Teor de matéria seca predita em mangas ‘Palmer’ no momento da colheita. SSm%: Teor de sólidos solúveis em mangas ‘Palmer’ maduras. MSm%: Teor de matéria seca em mangas ‘Palmer’ maduras. \*Significativo a 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ). \*\*Significativo a 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ).

O teor de MS de uma fruta é a soma de amido, açúcares e outros componentes celulares como paredes celulares e fibras, que são relativamente constantes. Assim, o teor de MS é uma estimativa útil do teor de amido e açúcares. À medida que as frutas amadurecem, grande parte do amido se converte em açúcares, e assim, a MS na colheita é um índice útil de açúcares (presumidamente SS) das frutas totalmente maduras, o que impacta diretamente no sabor (Walsh, 2016).

As experiências sensoriais desempenham um papel importante na satisfação dos consumidores e, conseqüentemente, na aceitação das frutas tropicais nos diferentes nichos de mercado, como por exemplo, na União Europeia. A prática de exportação de mangas para mercados distantes leva à colheita de frutas em estágios de maturação menos avançados, o que aumenta a vida útil do produto no transporte, mas pode impactar o desenvolvimento do sabor, diminuindo a aceitação pelos consumidores (Yahia, 2011; Liguori et al., 2020). Dessa forma, é de elevada importância o estabelecimento de um protocolo geral de colheita e amadurecimento comercial para mangas, a fim de garantir a máxima expressão de todos os atributos sensoriais desejáveis e a aceitação pelo consumidor (Nassur et al., 2015). Para a agroindústria de mangas, a *Australian Mango Industry Association* (AMIA) tem recomendado o teor mínimo de MS de 15% para a colheita de diferentes variedades de manga, a fim de garantir a qualidade mínima necessária para o consumo após o amadurecimento ( $SS \geq 14\%$ ) (AMIA, 2016; Walsh, 2016).

Freitas et al. (2022) constataram que mangas 'Palmer' produzidas e colhidas no Vale do São Francisco com no mínimo 13,7 e 14,5% e 'Tommy Atkins' colhidas com 14,4 e 15,3% de MS, no verão e inverno, respectivamente, resultaram em maior teor de SS em frutas maduras, o que conseqüentemente gerou maior satisfação geral dos consumidores. Nesse âmbito, através de modelos de predição de qualidade altamente precisos, é possível selecionar e direcionar as frutas com qualidade mínima na colheita (MS) que atingirão a maior qualidade de consumo quando maduras (SS), atendendo de maneira mais assertiva as demandas dos diferentes tipos de mercados consumidores.

Houve também uma forte correlação entre a matéria seca determinada de forma não destrutiva no momento da colheita (MSpred%) com a matéria seca determinada destrutivamente nas frutas maduras (MSm%) ( $R^2 = 0,9664$ ; valor-p = 0,0169\*) (Tabela 15). Os resultados obtidos indicaram que o conteúdo de MS permaneceu estável durante o amadurecimento das frutas. Estudos demonstram que o teor de MS tende a permanecer estável em mangas durante o amadurecimento. Por outro lado, a maior variação ocorre normalmente para o teor de SS ao longo do processo, o que pode ser uma limitação para o uso deste parâmetro na predição da qualidade de consumo da fruta (Subedi; Walsh; Owens, 2007; Marques et al., 2016; Nordey; Davrieux; Léchaudel, 2019).

Durante o amadurecimento, o amido acumulado nas mangas durante o seu crescimento e desenvolvimento na planta é convertido em açúcares solúveis (sacarose, glicose e frutose), aumentando assim o teor de SS (Singh et al., 2013). A MS, por outro lado, que pode ser entendida como uma medida para o teor de amido e SS, dessa forma, ao longo do amadurecimento varia bastante em composição devido à conversão do amido, porém é um parâmetro que apresenta pouca variação quanto ao seu teor, que pode variar ligeiramente devido às perdas de água e respiração das frutas durante o armazenamento (Nordey et al., 2016; Nordey; Davrieux; Léchaudel, 2019). Dessa forma, é possível hipotetizar no presente trabalho que o armazenamento das mangas em câmara fria à 10°C ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ) com umidade relativa de 90% ( $\pm 5\%$ ) possibilitou condições favoráveis de umidade e temperatura, favorecendo mínimas perdas de água, e conseqüentemente menor variação no teor de MS das frutas ao longo do amadurecimento.

Por fim, também foi observada uma forte correlação entre a matéria seca determinada destrutivamente nas frutas maduras (MSm%) com o teor de sólidos solúveis determinado destrutivamente nas frutas maduras (SSm%) ( $R^2 = 0,9946$ ; valor-p = 0,0027\*\*). Estes resultados mostram que mesmo em frutas maduras e prontas para consumo, o teor de MS é um bom indicativo para predição do teor de SS.

Ao comparar as precisões obtidas para o modelo desenvolvido para predição do teor de SS em mangas maduras a partir dos espectros coletados nas frutas na maturação fisiológica de colheita ( $R^2_{\text{cal}} = 0,72$ ,  $R^2_{\text{vc}} = 0,61$ ) (item 4.3.2.3) e a do modelo obtido pela correlação MSpred% X SSm% na presente etapa ( $R^2 = 0,99$ ), pode-se concluir que a predição da qualidade de consumo de mangas 'Palmer' é mais precisa quando realizada a partir da MS determinada de modo não destrutivo na maturação de colheita, caracterizando uma estratégia altamente promissora para a mangicultura no Vale do São Francisco.

#### 4.4 CONCLUSÕES

Os modelos preditivos para cor da polpa (parâmetros L e h) e MS apresentaram desempenho satisfatório, possuindo potencial para serem utilizados na análise de qualidade de mangas 'Palmer' produzidas no Vale do São Francisco.

Os modelos preditivos construídos para o parâmetro C (cor da polpa), FP, SS e AT não apresentaram poder preditivo satisfatório, tornando a aplicação prática dos modelos inviável para avaliação de qualidade de mangas 'Palmer' produzidas no Vale do São Francisco, sendo necessária a incorporação de mais fontes de variação e/ou seleção de variáveis para aumentar a precisão dos modelos.

O espectrômetro recomendado para avaliação da qualidade em mangas 'Palmer' é o F-750, especialmente para análise de MS, visto que é o que mais se ajusta à rotina de utilização na agroindústria da manga.

A predição da qualidade de consumo de mangas 'Palmer' é mais precisa quando realizada a partir dos teores de MS determinada de modo não destrutivo na colheita, caracterizando um método altamente promissor para a agroindústria de mangas no Vale do São Francisco.

## REFERÊNCIAS

- ABRAFRUTAS. **Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frutas e Derivados**, 2021. Disponível em: <https://abrafrutas.org/2021/04/13973/>. Acesso em: 07 out. 2023.
- ALINE, U. *et al.* Advancement of non-destructive spectral measurements for the quality of major tropical fruits and vegetables: a review. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, 2023.
- AMIA. **Mango Industry Quality Standards**, 2016. Disponível em: <<https://www.industry.mangoes.net.au/resources/resources-library/mango-industry-quality-standards/>>. Acesso em: 14 dez. 2023.
- ANDERSON, N. T. *et al.* Achieving robustness across season, location and cultivar for a NIRS model for intact mango fruit dry matter content. **Postharvest Biology and Technology**, v. 168, p. 111202, 2020.
- BEĆ, K. B.; GRABSKA, J.; HUCK, C. W. Miniaturized NIR spectroscopy in food analysis and quality control: Promises, challenges, and perspectives. **Foods**, v. 11, n. 10, p. 1465, 2022.
- BURA, S. *et al.* Recent Advances in Breeding of Mango (*Mangifera indica*): A Review. **International Journal of Environment and Climate Change**, v. 13, n. 11, p. 521-538, 2023.
- BUSATTO, N. *et al.* Physiological and molecular characterization of the late ripening stages in *Mangifera indica* cv Keitt. **Postharvest Biology and Technology**, v. 183, p. 111746, 2022.
- CAMO, Oslo, Noruega. The Unscrambler User Manual. Acesso em: 06 dez. 2023.
- CONSUMER PHYSICS. SCiO - The World's Only Pocket-Sized NIR Micro Spectrometer. Disponível em: <<https://www.consumerphysics.com/>>. Acesso em: Acesso em: 28 out. 2023.
- CORTÉS, V. *et al.* A new internal quality index for mango and its prediction by external visible and near-infrared reflection spectroscopy. **Postharvest Biology and Technology**, v. 118, p. 148-158, 2016.

- DE BRITO, A. A. *et al.* Non-destructive determination of color, titratable acidity, and dry matter in intact tomatoes using a portable Vis-NIR spectrometer. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 107, p. 104288, 2022.
- DELWICHE, S. R.; MEKWATANAKARN, W.; WANG, C. Y. Soluble solids and simple sugars measurement in intact mango using near infrared spectroscopy. **HortTechnology**, v. 18, n. 3, p. 410-416, 2008.
- DEVICES, Analytical Spectral. FieldSpec 3 user manual. **ASD Document**, v. 600540, p. 98, 2010.
- DIOP, B.; BENKEBLIA, N. Correlation between colour, firmness, dry matter, sugars and maturity in 'East Indian' mangoes (*Mangifera Indica*). *In: III International Conference on Postharvest and Quality Management of Horticultural Products of Interest for Tropical Regions 1047*. 2013. p. 121-126.
- DOS SANTOS NETO, J. P. *et al.* Determination of 'Palmer' mango maturity indices using portable near infrared (VIS-NIR) spectrometer. **Postharvest Biology and Technology**, v. 130, p. 75-80, 2017.
- DOS SANTOS NETO, J. P. *et al.* Postharvest behavior of mangoes nondestructively sorted based on dry matter content during and after storage under controlled atmosphere. **Fruits, The International Journal of Tropical and Subtropical Horticulture**, v. 74, n. 6, p. 294-302, 2019.
- FELIX INSTRUMENTS. F-750 Produce Quality Meter. Food Science Instruments. USA. Disponível em: <<https://felixinstruments.com/food-science-instruments/portable-nir-analyzers/f-750-produce-quality-meter/>>. Acesso em: 28 out. 2023.
- FREITAS, S. T. de *et al.* Mango dry matter content at harvest to achieve high consumer quality of different cultivars in different growing seasons. **Postharvest Biology and Technology**, v. 189, p. 111917, 2022.
- FREITAS, S. T. de; MARQUES, E. J. N. Uso de espectrômetros Vis-NIR para a determinação de parâmetros de qualidade físico-química de mangas. 8 p. (Embrapa Semiárido. Comunicado Técnico, 189), 2022. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1147792>>. Acesso em: 24 out. 2023.

GELADI, P.; KOWALSKI, B. R. Partial least-squares regression: A tutorial. **Anal. Chim. Acta**, 185, 1–17, 1986.

GOISSER, S.; WITTMANN, S.; MEMPEL, H. Food-scanner applications in the fruit and vegetable sector. **Landtechnik**, v. 76, n. 1, 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manga: área plantada e quantidade produzida**. Brasília, DF: IBGE, 2021 (Produção agrícola municipal, 2021). Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 06 out. 2023.

JHA, S. N. *et al.* Nondestructive prediction of maturity of mango using near infrared spectroscopy. **Journal of Food Engineering**, v. 124, p. 152-157, 2014.

Konica Minolta. **Konica Minolta US**, © 2006 – 2023. Compreendendo o Espaço de Cor CIE L\*C\*h. Disponível em: <<https://sensing.konicaminolta.us/br/blog/compreendendo-o-espaco-de-cor-cie-lch/>>. Acesso em: 06 dez. 2023.

KUSUMIYATI, K.; MUNAWAR, A. A.; SUHANDY, D. Fast, simultaneous and contactless assessment of intact mango fruit by means of near infrared spectroscopy. **AIMS Agriculture and Food**, v. 6, n. 1, p. 172-184, 2021.

LAWSON, T. *et al.* Characterization of Southeast Asia mangoes (*Mangifera indica* L) according to their physicochemical attributes. **Scientia Horticulturae**, v. 243, p. 189-196, 2019.

LIGUORI, G. *et al.* Food quality, sensory attributes and nutraceutical value of fresh “Osteen” mango fruit grown under mediterranean subtropical climate compared to imported fruit. **Agriculture**, v. 10, n. 4, p. 103, 2020.

LIMA, M. A. C. de; SILVA, A. L. da; AZEVEDO, S. S. N. Evolução de indicadores do ponto de colheita em manga 'Tommy Atkins' durante o crescimento e a maturação, nas condições do vale do São Francisco, Brasil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, p. 432-439, 2009.

LIU, B. *et al.* Research progress on mango post-harvest ripening physiology and the regulatory technologies. **Foods**, v. 12, n. 1, p. 173, 2022.

MAGWAZA, L. S. *et al.* NIR spectroscopy applications for internal and external quality analysis of citrus fruit - a review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, p. 425-444, 2012.

MALDONADO-CELIS, M. E. *et al.* Chemical composition of mango (*Mangifera indica* L.) fruit: Nutritional and phytochemical compounds. **Frontiers in plant science**, v. 10, p. 1073, 2019.

MALUNDO, T. M. M. *et al.* Sugars and acids influence flavor properties of mango (*Mangifera indica*). **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 126, n. 1, p. 115-121, 2001.

MARQUES, E. J. N. *et al.* Espectroscopia na região do infravermelho próximo (NIR): técnica analítica não destrutiva para determinação da qualidade de manga. *In*: FIGUEIREDO NETO, A.; ALMEIDA, F. A. C.; CAVALCANTE, I. H. L. **Manga: maturação, colheita e conservação**. Petrolina: Univasf, 2017. cap. 3, p. 63-87, 2017.

MARQUES, E. J. N. *et al.* 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.

MARQUES, E. J. N.; DE FREITAS, S. T. Performance of new low-cost handheld NIR spectrometers for nondestructive analysis of umbu (*Spondias tuberosa* Arruda) quality. **Food chemistry**, v. 323, p. 126820, 2020.

MISHRA, P.; WOLTERING, E.; EL HARCHIOUI, N. Improved prediction of 'Kent' mango firmness during ripening by near-infrared spectroscopy supported by interval partial least square regression. **Infrared Physics & Technology**, v. 110, p. 103459, 2020.

NASSUR, R. de C. M. R. *et al.* Describing quality and sensory attributes of 3 mango (*Mangifera indica* L.) cultivars at 3 ripeness stages based on firmness. **Journal of Food Science**, v. 80, n. 9, p. S2055-S2063, 2015.

NATIONAL MANGO BOARD. How To Choose A Mango. **National Mango Board**, 2023. Disponível em: <<https://www.mango.org/choose-a-mango/>>. Acesso em: 14 dez. 2023.

NATIONAL MANGO BOARD. Manual de Práticas para o Melhor Manejo Pós-Colheita da Manga. **National Mango Board**, 2011. Disponível em: <<https://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/hs/hs119400.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2023.

NATIONAL MANGO BOARD. Maturity & Ripeness Guide. **National Mango Board**, 2010. Disponível em: <<https://www.mango.org>>. Acesso em: 14 dez. 2023.

NATIONAL MANGO BOARD. Maturity and Ripeness Guide. **National Mango Board**, 2019. Disponível em: <<https://www.mango.org>>. Acesso em: 14 dez. 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, 2007.

NICOLAÏ, B. M. *et al.* Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality. **Annual review of food science and technology**, v. 5, p. 285-312, 2014.

NORDEY, T. *et al.* Factors affecting ethylene and carbon dioxide concentrations during ripening: Incidence on final dry matter, total soluble solids content and acidity of mango fruit. **Journal of plant physiology**, v. 196, p. 70-78, 2016.

NORDEY, T. *et al.* Robust NIRS models for non-destructive prediction of mango internal quality. **Scientia Horticulturae**, v. 216, p. 51-57, 2017.

NORDEY, T.; DAVRIEUX, F.; LÉCHAUDEL, M. Predictions of fruit shelf life and quality after ripening: Are quality traits measured at harvest reliable indicators?. **Postharvest Biology and Technology**, v. 153, p. 52-60, 2019.

NTSOANE, M. L. *et al.* Quality assessment and postharvest technology of mango: A review of its current status and future perspectives. **Scientia Horticulturae**, v. 249, n. September 2018, p. 77–85, 2019.

PADDA, M. S. *et al.* Methods to analyze physico-chemical changes during mango ripening: A multivariate approach. **Postharvest Biology and Technology**, v. 62, n. 3, p. 267-274, 2011.

PASQUINI, C. Near infrared spectroscopy: fundamentals, practical aspects and analytical applications. **Journal of the Brazilian chemical society**, v. 14, p. 198-219, 2003.

PRAIPHUI, A.; KIELAR, F. Comparing the performance of miniaturized near-infrared spectrometers in the evaluation of mango quality. **Journal of Food Measurement and Characterization**, p. 1-17, 2023.

RUNGPICHAYAPICHET, P. *et al.* Comparison of near-infrared spectroscopy and hyperspectral imaging for internal quality determination of 'Nam Dok Mai' mango during ripening. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 17, n. 2, p. 1501-1514, 2023.

RUNGPICHAYAPICHET, P. *et al.* Non-destructive determination of  $\beta$ -carotene content in mango by near-infrared spectroscopy compared with colorimetric measurements. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 38, p. 32-41, 2015.

RUNGPICHAYAPICHET, P. *et al.* Robust NIRS models for non-destructive prediction of postharvest fruit ripeness and quality in mango. **Postharvest Biology and Technology**, v. 111, p. 31-40, 2016.

SANTOS, D. B. *et al.* Caracterização físico-química dos estádios de maturação da manga 'Tommy Atkins' produzida no município de Iaçu-BA. **Magistra**, v. 20, p. 342-348, 2008.

SARANWONG, I.; SORNSRIVICHAI, J; KAWANO, S. Performance of a portable near infrared instrument for Brix value determination of intact mango fruit. **Journal of near infrared spectroscopy**, v. 11, n. 3, p. 175-181, 2003.

SARANWONG, S.; KAWANO, S. Fruits and vegetables. **Near-infrared spectroscopy in food science and technology**, p. 219-245, 2007.

SARANWONG, S; SORNSRIVICHAI, J; KAWANO, S. Prediction of ripe-stage eating quality of mango fruit from its harvest quality measured nondestructively by near infrared spectroscopy. **Postharvest biology and technology**, v. 31, n. 2, p. 137-145, 2004.

SHAH, S. S. A. *et al.* Towards fruit maturity estimation using NIR spectroscopy. **Infrared Physics & Technology**, v. 111, p. 103479, 2020.

SINGH, Z. *et al.* Mango-postharvest biology and biotechnology. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 32, n. 4, p. 217-236, 2013.

SUBEDI, P. P.; WALSH, K. B. Non-invasive techniques for measurement of fresh fruit firmness. **Postharvest biology and technology**, v. 51, n. 3, p. 297-304, 2009.

SUBEDI, P. P.; WALSH, K. B.; OWENS, G. Prediction of mango eating quality at harvest using short-wave near infrared spectrometry. **Postharvest Biology and Technology**, v. 43, n. 3, p. 326-334, 2007.

TELLSPEC. Analysis, Food Safety, Food Database, Food Security. Disponível em: <<https://tellspec.com/>>. Acesso em: 28 out. 2023.

VÁSQUEZ-CAICEDO, A. L. *et al.* Accumulation of all-trans- $\beta$ -carotene and its 9-cis and 13-cis stereoisomers during postharvest ripening of nine Thai mango cultivars. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 12, p. 4827-4835, 2005.

WALSH, K. B. *et al.* Visible-NIR 'point' spectroscopy in postharvest fruit and vegetable assessment: The science behind three decades of commercial use. **Postharvest Biology and Technology**, v. 168, p. 111246, 2020.

WALSH, K.B. Dry matter matters, 2016. Disponível em: <<https://www.industry.mangoes.net.au/resources/resources-library/dry-matter-matters/>>. Acesso em: 14 dez. 2023.

WANG, T. *et al.* 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.

YAHAYA, O. K. M. *et al.* Simplified optical fiber RGB system in evaluating intrinsic quality of Sala mango. **Optical Engineering**, v. 54, n. 6, p. 067108-067108, 2015a.

YAHAYA, O. K. M. *et al.* Visible spectroscopy calibration transfer model in determining pH of Sala mangoes. **Journal of Instrumentation**, v. 10, n. 05, p. T05002, 2015b.

YAHIA, E. M. *et al.* The contribution of mango fruit (*Mangifera indica* L.) to human nutrition and health. **Arabian Journal of Chemistry**, p. 104860, 2023.

YAHIA, E. M. Mango (*Mangifera indica* L.). *In: Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits*. Woodhead Publishing. p. 492-567e, 2011.

## 5 CAPÍTULO 3: USO DE RESTRIÇÃO HÍDRICA PARA AUMENTO NO TEOR DE MATÉRIA SECA E QUALIDADE DE CONSUMO EM MANGAS ‘PALMER’ PRODUZIDAS NO VALE DO SÃO FRANCISCO

### RESUMO

Os objetivos deste trabalho foram avaliar os efeitos de diferentes níveis de restrição hídrica das plantas no pomar sobre o aumento nos teores de MS e qualidade de consumo das mangas ‘Palmer’ produzidas no Vale do São Francisco. O experimento foi realizado em um pomar comercial com mangueiras ‘Palmer’ localizado no Vale do São Francisco. Diferentes níveis de restrição hídrica das plantas foram aplicados antes da colheita, variando o período de restrição. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, sendo colhidas 20 frutas por planta, totalizando 40 frutas por nível de restrição hídrica. Um total de 80 frutas foram analisadas imediatamente após a colheita para construir um modelo de previsão de MS e análises destrutivas. As outras 80 frutas foram utilizadas para análises espectrais e em seguida armazenadas em câmara fria à 10°C ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ) até atingirem a maturação de consumo caracterizada pela firmeza de polpa  $\leq 1,53$  Kg. Os parâmetros de cor da casca (L, C e h) e polpa (L e C), AT, SS/AT e PF não apresentaram ajuste de regressão ou significância a 5% de probabilidade pela ANAVA, indicando que os tratamentos de restrição hídrica não exerceram influência sobre estes parâmetros. No entanto, o parâmetro h da polpa, FP, SS e MS foram significativamente alterados pelos diferentes níveis de restrição hídrica. Valores máximos ocorreram para SS e MS entre 3 e 5 semanas de restrição hídrica (SRH). Um modelo preditivo para MS das frutas foi desenvolvido com sucesso ( $R^2_P = 0,75$  e  $RMSEP = 0,66\%$ ), demonstrando sua eficácia na previsão do teor de MS. Além disso, o teor de MS predito ( $MSp\%$ ) antes do armazenamento correlacionou-se fortemente com o teor de SS das frutas maduras ( $SSm\%$ ), com  $R^2 = 0,97$ . Conclui-se que a restrição hídrica total aplicada às mangas ‘Palmer’ entre 3 a 5 semanas antes da colheita resulta em maior teor de MS e maior qualidade de consumo das frutas após o amadurecimento. Este método, que pode ser avaliado de forma não destrutiva com alta precisão, mostra-se promissor para a produção de mangas com alta qualidade de consumo no Vale do São Francisco.

**Palavras-chave:** *Mangifera indica* L.; pós-colheita; calibração; déficit hídrico.

## ABSTRACT

The objectives of this study were to evaluate the effects of different levels of water restriction on the orchard to increase DM content and eating quality of 'Palmer' mangoes produced in the São Francisco Valley. The experiment was conducted in a commercial orchard with 'Palmer' mango trees located in the São Francisco Valley. Different levels of water restriction on the plants were applied before harvest, varying the restriction period. The experiment was carried out in a completely randomized design, with 20 fruits per plant, totaling 40 fruits per level of water restriction. A total of 80 fruits were analyzed immediately after harvest to build a DM prediction model and for destructive analyses. The other 80 fruits were used for spectral analyses and then stored 10°C ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ) until reaching the ready-to-eat ripening stage characterized by pulp firmness  $\leq 1.53$  kg. Skin color parameters (L, C, and h) and pulp color parameters (L and C), TA, SS/TA, and FW did not show regression adjustment or significance at 5% probability by ANOVA, indicating that water restriction treatments did not influence these parameters. However, the pulp h parameter, PF, SS, and DM were significantly altered by different levels of water restriction. Maximum values occurred for SS and DM between 3 and 5 weeks of water restriction (WR). A predictive model for fruit DM was successfully developed ( $R^2_P = 0.75$  and  $\text{RMSEP} = 0.66\%$ ), demonstrating its effectiveness in predicting DM content. Additionally, the predicted DM content ( $\text{DM}_p\%$ ) before storage strongly correlated with the SS content of ripe fruits ( $\text{SS}_m\%$ ), with  $R^2 = 0.97$ . It is concluded that total water restriction applied to 'Palmer' mangoes between 3 to 5 weeks before harvest results in higher DM content and higher eating quality of the fruit after ripening. This method, which can be evaluated non-destructively with high precision, shows promise for the production of mangoes with high eating quality in the São Francisco Valley.

**Keywords:** *Mangifera indica* L.; post-harvest; calibration; water deficit.

## 5.1 INTRODUÇÃO

O Submédio Vale do São Francisco, situado no Nordeste do Brasil, é uma região onde a economia é baseada na fruticultura irrigada, sendo o cultivo da mangueira nas condições semiáridas responsável por um significativo volume de negócios que envolvem tanto o mercado interno como o externo, impactando a economia da região pela geração de emprego e renda (Mouco; Lima Neto, 2018). O Nordeste é a maior região produtora, respondendo por cerca de 80,37% da produção nacional de mangas, sendo os estados de Pernambuco e Bahia os maiores produtores, com rendimentos médios de 20,34 e 28,62 t/ha, respectivamente (IBGE, 2021).

No Vale do São Francisco, as chuvas são escassas e irregulares, não atendendo a demanda hídrica das culturas, sendo necessário o uso da irrigação para obter uma produtividade economicamente adequada (Andrade et al., 2023). O fornecimento adequado de água para as plantas via irrigação é indispensável para a obtenção de altas produtividades, sendo essencial a adoção de estratégias que otimizem o uso eficiente da água (Zuazo et al., 2021a).

A redução controlada do fornecimento de água às culturas é vista como uma das formas sustentáveis de gerir os recursos hídricos, garantir o uso eficiente da água na produção agrícola e aprimorar os atributos relacionados à qualidade em frutas e hortaliças (Adu et al., 2019). A qualidade das frutas é medida de acordo com vários critérios, que diferem entre produtores, consumidores e distribuidores. O tamanho da fruta, peso e a atratividade externa determinam a qualidade de comercialização, enquanto a firmeza da polpa, aparência, aroma, doçura e uma proporção adequada de açúcar/ácido estão associados ao sabor e à vida útil das frutas (Ripoll et al., 2014).

Alguns estudos mostram que a indução de déficit hídrico em mangueiras em estádios fenológicos menos sensíveis como durante a maturação das frutas, seja por redução da lâmina de irrigação ou negação de água por curtos períodos antes da colheita, podem melhorar a produção e também aumentar o teor de atributos relacionados qualidade das frutas, como os teores de MS e SS (Nagle et al., 2010; Anderson; Subedi; Walsh, 2017; Khalifa, 2018; Rosalie et al., 2019; Lipan et al., 2021; Zuazo et al., 2021a; Zuazo et al., 2021b; Andrade et al., 2023).

No entanto, apesar de manga ser uma cultura tolerante à seca, a depender do estágio fenológico, duração ou intensidade do estresse hídrico aplicado, podem haver

prejuízos na produtividade e qualidade das frutas, tornando essencial determinar o nível adequado de estresse hídrico para cada genótipo em cada condição de cultivo (Zuazo et al., 2021a). Sendo assim, a aplicação de técnicas de irrigação que economizam água, especialmente em frutas e hortaliças, devem servir ao propósito de manter ou melhorar os atributos de qualidade desejáveis do produto para compensar possíveis reduções de produtividade (Adu et al., 2019).

Em mangas, a qualidade de consumo das frutas é diretamente relacionada ao teor de MS da polpa, que pode ser definida como uma medida para o teor total de carboidratos das frutas (amido e açúcares solúveis), paredes celulares, ácidos orgânicos, fibras e minerais (Musacchi; Serra, 2018). Durante a maturação, o amido do mesocarpo é convertido em açúcares solúveis que estão relacionados ao sabor da fruta (Subedi; Walsh; Owens, 2007; Anderson et al., 2020). Sendo assim, uma manga contendo quantidades suficientes de MS e amido na colheita, apresentará elevada qualidade de consumo e maior aceitação pelos consumidores após o amadurecimento (Saranwong; Sornsrivichai; Kawano, 2004; Freitas et al., 2022), sendo de maior interesse para os produtores priorizar elevados teores de MS como uma medida para agregar valor e estimular o consumo das frutas (Goke; Serra; Musacchi, 2020).

Estudos demonstraram que a MS pode ser predita com elevada exatidão em mangas por meio de espectroscopia Vis-NIR no momento da colheita, sendo altamente correlacionada à qualidade de consumo (SS) das frutas quando maduras (Saranwong, Sornsrivichai; Kawano, 2004; Subedi; Walsh; Owens, 2007; Nordey; Davrieux; Léchaudel, 2019; Freitas et al., 2022). Dessa forma, os objetivos deste trabalho foram (1) avaliar os efeitos de diferentes níveis de restrição hídrica das plantas no pomar sobre o aumento nos teores de MS e qualidade de consumo das mangas 'Palmer' produzidas no Vale do São Francisco, (2) desenvolver e validar um modelo de predição de MS e (3) predizer a qualidade de consumo das frutas.

## 5.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.2.1 Obtenção de mangas 'Palmer'

Os tratamentos de restrição hídrica foram aplicados em um pomar comercial de mangas 'Palmer' enxertadas com porta-enxerto de manga 'Espada' com aproximadamente 7 anos de idade. O pomar está localizado no município de Petrolina,

PE, sendo as plantas dispostas em um espaçamento de 5 m x 4 m e cada árvore irrigada com 2 aspersores com vazão aproximada de 27 L.h<sup>-1</sup> por aspersor. A irrigação regular ao longo do ciclo produtivo envolveu sessões com duração variável, de acordo com a evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>), precipitação registrada e demais critérios adotados pela fazenda. O coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>) adotado para o cálculo da ET<sub>c</sub> (K<sub>c</sub> x evapotranspiração de referência) foi de acordo com os estádios fenológicos da cultura, sendo: repouso = 0,40; crescimento vegetativo/ maturação dos ramos = 0,60; indução floral = 0,30; frutificação e crescimento das frutas = 0,70; Maturação = 0,80; e colheita = 0,30. O solo da área experimental é texturalmente classificado como areia franca. As análises dos atributos físicos e químicos do solo antes da condução do experimento são apresentadas na tabela 16.

**Tabela 16** – Atributos físicos e químicos do solo da área experimental (0 – 30 cm de profundidade) onde foi conduzido o experimento de restrição hídrica para aumento de matéria seca em mangas ‘Palmer’ cultivadas no Vale do São Francisco.

<b>Determinação</b>	<b>Valor</b>	<b>Determinação</b>	<b>Valor</b>
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )	0,34	pH (H <sub>2</sub> O) 1:2,5	6,8
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )	6,90	P (mg.dm <sup>-3</sup> )	101,7
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )	0,99	Matéria Orgânica (g.kg <sup>-1</sup> )	14,1
Na <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )	0,05	Areia (%)	84
SB (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )	8,28	Silte (%)	6
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )	0,00	Argila (%)	10
H+Al (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )	0,80		
CTC (pH 7,0)	9,08		
V (%)	91		

Métodos de extração: P e K: Mehlich 1 (HCl + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>); Ca e Mg: KCl 1 mol. L<sup>-1</sup>. Matéria orgânica: método Walkley Black. Dados cedidos pela fazenda.

Para auxiliar na indução floral das plantas, foi aplicado Paclobutrazol (PBZ), na dose de 22 mL/planta em 28/09/2022, com o início da floração ocorrendo em 22/12/2022 e a colheita das frutas ocorrendo em 25/05/2023, de acordo com as diretrizes e práticas adotadas pela fazenda. Desta forma, o período entre a indução

floral com PBZ e a colheita foi de 239 dias e entre a floração e a colheita foi de 154 dias.

### 5.2.2 Tratamentos

Cada tratamento de restrição hídrica foi aplicado em duas plantas. Duas plantas adicionais foram mantidas sem restrição hídrica, a fim de constituírem o tratamento controle que representa o manejo hídrico padrão do pomar. O experimento foi conduzido ao longo de 49 dias (7 semanas), com início em 105 dias após a floração (DAF), correspondendo ao início do estágio de maturação fisiológica das frutas nas plantas, de acordo com o cronograma da fazenda.

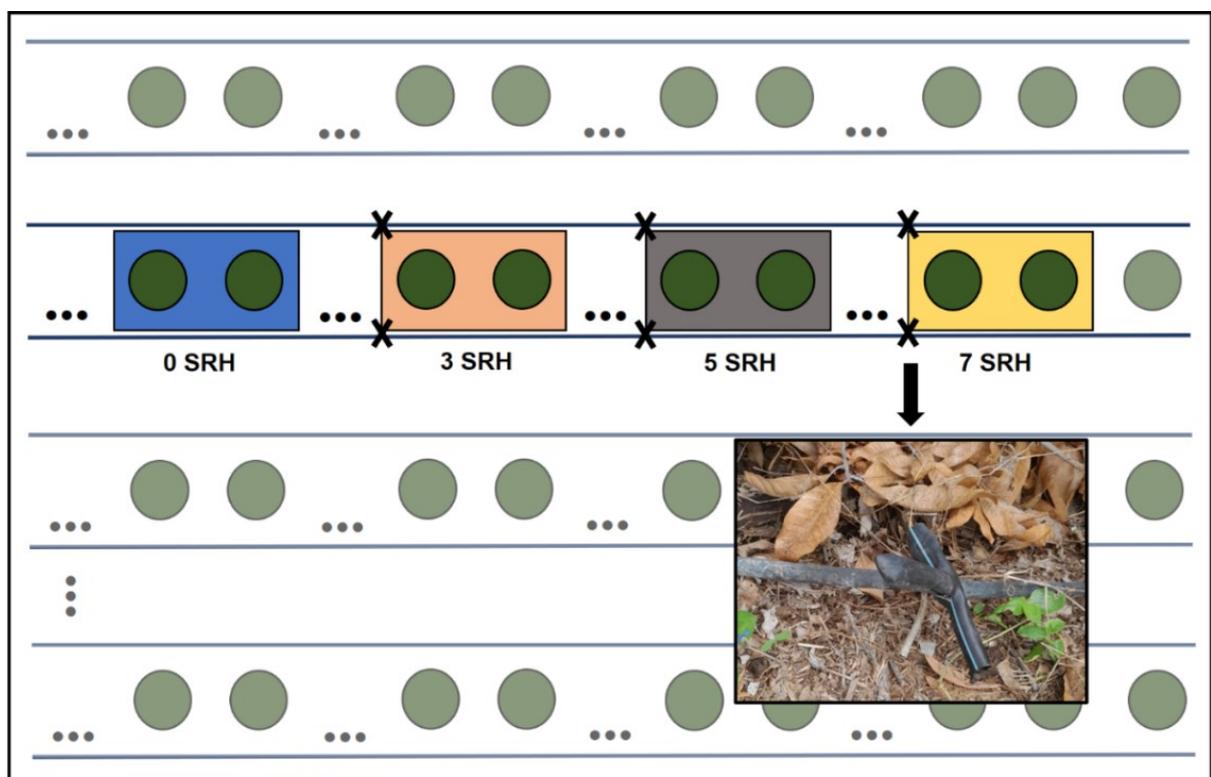
Os tratamentos foram: 0 SRH - Sem restrição hídrica antes da colheita (100% ETc); 3 SRH – 100% de restrição hídrica com início na 3ª semana antes da colheita (133 DAF); 5 SRH – 100% de restrição hídrica com início na 5ª semana antes da colheita (119 DAF); 7 SRH – 100% de restrição hídrica com início na 7ª semana antes da colheita (105 DAF). A irrigação nas plantas dos tratamentos com restrição hídrica foi interrompida através da obstrução total das mangueiras de irrigação a partir das plantas do tratamento 7 SRH, depois 5 SRH e por último 3 SRH, o que conseqüentemente impediu o funcionamento dos aspersores em cada planta nos respectivos períodos antes da colheita (Figura 21).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), sendo colhidas 20 frutas/planta, totalizando 40 frutas/tratamento e 160 frutas no total deste trabalho (Figura 22A). As frutas foram colhidas em estágio de maturação utilizado comercialmente, entre 1 e 2, definido a partir de escala comercial de coloração de polpa adotada pela fazenda (Santos et al., 2008; National Mango Board, 2011). As frutas foram transportadas para o Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-colheita da Embrapa Semiárido, Petrolina-PE, onde seguiram para as etapas de lavagem, secagem, identificação e foram mantidas em temperatura ambiente ( $24^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ) até que houvesse a diminuição e estabilização da temperatura das frutas que vieram diretamente do campo para a realização das análises espectrais e físico-químicas (Figura 22B).

Imediatamente após a colheita, foram coletadas 20 frutas de cada tratamento (em 4 repetições de 5 frutas), totalizando 80 frutas analisadas na colheita para construção de modelo de predição de MS e análises destrutivas (item 5.2.3). As outras

80 frutas foram utilizadas para análises espectrais (item 5.2.4) e em seguida armazenadas em câmara fria à 10°C ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ) até atingirem gradualmente maturação ideal para consumo para a realização de análise de SS (Figura 22C). A maturação de consumo foi determinada visualmente pela observação de mudanças na coloração da casca, firmeza (firmeza de polpa  $\leq 1,53$  Kg) e aroma das frutas, simulando as condições em que um consumidor escolhe uma manga com maturação ideal para consumir (National Mango Board, 2023).

**Figura 21** - Croqui da área experimental de mangas ‘Palmer’.



\*0 SRH - Sem restrição hídrica antes da colheita; \*3 SRH – 100% de restrição hídrica com início na 3ª semana antes da colheita; \*5 SRH – 100% de restrição hídrica com início na 5ª semana antes da colheita; \*7 SRH – 100% de restrição hídrica com início na 7ª semana antes da colheita. Fonte: autoria própria.

**Figura 22** – Colheita (A), preparo das amostras para análises espectrais e físico-químicas (B) e armazenamento de mangas ‘Palmer’ utilizadas no experimento (C).



Fonte: autoria própria.

### **5.2.3 Análises físico-químicas na colheita e construção de modelo para a determinação não destrutiva dos teores de MS**

Os dados espectrais de 80 mangas foram aferidos antes das análises destrutivas por meio do espectrômetro Vis-NIR portátil F-750 Produce Quality Meter (Felix Instruments, Estados Unidos), com faixa espectral de 400 a 1100 nm, sendo os espectros registrados diretamente sobre a casca das frutas em dois pontos distribuídos em cada lado da fruta (lados A e B), totalizando 160 amostras.

Em seguida, os parâmetros físicos avaliados nas 80 frutas foram: (1) coloração da casca (CC) e da polpa (CP) através de colorímetro portátil CR-400 (Konica Minolta, Brasil), com resultados expressos em termos dos parâmetros de Luminosidade (L), Cromaticidade (C) e ângulo hue (h); (2) firmeza da polpa (FP), determinada em penetrômetro digital PDF-200 com suporte para bancada (SoilControl, Brasil), utilizando uma ponteira de 6 mm, tomando-se as medidas em dois lados opostos da região equatorial do fruto, onde a epiderme foi removida (área ~ 1 cm<sup>2</sup>), expressa em quilogramas (Kg).

Para as características físico-químicas, foram retiradas amostras da polpa de cada lado das 80 frutas com as dimensões aproximadas de 5 x 3 x 1 cm (comprimento x largura x profundidade). As amostras retiradas foram cortadas, homogeneizadas e divididas em frações para: (1) determinação de sólidos solúveis (SS) utilizando aproximadamente 1 mL de suco das amostras em refratômetro portátil digital modelo Pocket Pal-1 (Atago, Brasil), com resultados expressos em °Brix; (2) acidez titulável (AT) expressa em porcentagem (v/v) de ácido cítrico, determinada por titulação com hidróxido de sódio (0,1 mol.L<sup>-1</sup>) utilizando-se fenolftaleína a 1% como indicador em solução composta por 1 mL de suco da amostra adicionada de 50 mL de água destilada; (3) relação sólidos solúveis por acidez titulável e (4) análise de matéria seca (MS) nas amostras pela pesagem das amostras frescas que então foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 70°C, até atingirem peso constante, sendo então pesadas novamente para obtenção do peso seco. O teor de MS em cada amostra foi expresso em porcentagem, sendo calculado pela fórmula:

$$MS (\%) = \frac{P_s}{P_f} \times 100$$

Onde:

MS – Matéria seca em porcentagem;

P<sub>s</sub> – Peso seco da amostra;

P<sub>f</sub> – Peso fresco da amostra;

O desenvolvimento do modelo preditivo de MS ocorreu através da utilização dos dados obtidos destrutivamente para esse parâmetro como referência e a identificação das assinaturas espectrais foram realizadas através do *software* UnscramblerX v.10.4 (CAMO, Oslo, Noruega). Os dados espectrais foram pré-processados por SNV antes da construção do modelo preditivo. 80% do total das amostras foi destinado para a construção do modelo preditivo de MS, englobando amostras de todos os tratamentos para a construção do modelo. O método de modelagem utilizado foi a Regressão por Mínimos Quadrados Parciais (PLSR). O desempenho do modelo preditivo foi avaliado utilizando diferentes parâmetros estatísticos: coeficiente de determinação da calibração ( $R^2_{cal}$ ) e validação cruzada

( $R^2_{vc}$ ), Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático da Calibração (RMSEC) e de Validação Cruzada (RMSECV).

Também foi realizada a etapa de validação externa com os 20% restantes das amostras de cada tratamento que não foram utilizadas para a etapa de calibração. Nesta etapa, foi avaliada a raiz quadrada do erro médio quadrático de previsão (RMSEP), RMSEP relativo, calculado em relação ao valor médio da faixa do parâmetro de qualidade avaliado (RMSEPr), coeficiente de determinação da etapa de predição ou validação externa ( $R^2_P$ ) e *bias*. Os *outliers* (amostras anômalas) foram identificados e removidos manualmente após análise do gráfico de  $T^2$  de *Hotelling versus* a soma quadrática dos resíduos (Q) (dados não mostrados).

#### **5.2.4 Determinação do teor de MS em mangas de forma não destrutiva na colheita**

Os dados espectrais das 80 mangas restantes foram aferidos antes do armazenamento em câmara fria também por meio do espectrômetro Vis-NIR portátil F-750 Produce Quality Meter (Felix Instruments, Estados Unidos), sendo os espectros registrados diretamente sobre a casca das frutas em dois pontos distribuídos em cada lado da fruta (lados A e B), totalizando 160 amostras. Através do modelo preditivo de MS desenvolvido na etapa 5.2.3, foi possível determinar a MS na colheita de modo não destrutivo das mangas antes do amadurecimento.

#### **5.2.5 Umidade do solo e dados pluviométricos**

O teor de umidade do solo (%) foi determinado pela utilização da técnica da refletometria no domínio do tempo (TDR), com o uso do aparelho TDR 100 (Campbell Scientific) (Figura 23A). As leituras foram realizadas com uma sonda de cabo coaxial composta por 3 hastes, que foram fixadas em dois pontos no solo dentro da projeção das copas das árvores úteis nas profundidades de 0-0,2 m e de 0,2-0,4 m. As coletas de dados foram realizadas semanalmente durante a condução do experimento, totalizando-se 4 leituras de umidade por camada de solo em cada unidade experimental (Figura 23B). Os dados pluviométricos também foram registrados durante a condução do experimento através de pluviômetros instalados na fazenda.

**Figura 23** – TDR 100 (A) utilizado para determinação da umidade do solo durante a condução do experimento (B).



Fonte: autoria própria.

### 5.2.6 Análises dos dados

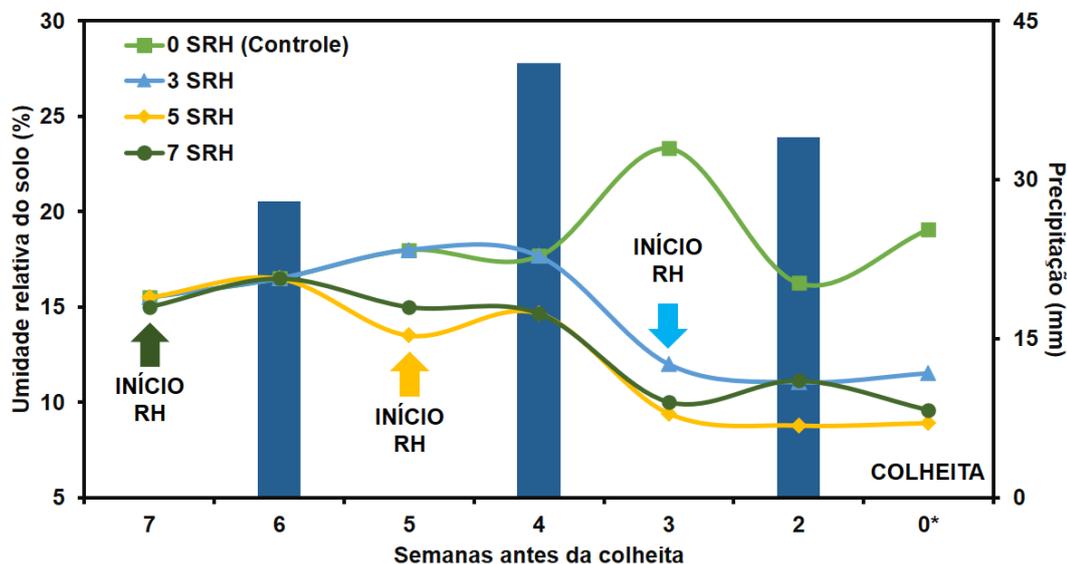
Os dados experimentais da colheita e SS das frutas após o amadurecimento foram submetidos à análise de regressão (teste “T”;  $P < 0,05$  ou  $P < 0,01$ ) em função dos tratamentos de restrição hídrica, sendo os modelos escolhidos de acordo com o nível de significância dos coeficientes linear e quadrático e no coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Para os parâmetros em que não houve ajuste de regressão e ANAVA significativas, os resultados foram expressos em médias com o desvio padrão. Os dados foram analisados com o auxílio do programa computacional SISVAR 5.8.

## 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.3.1 Umidade do solo e precipitação

Os tratamentos de restrição hídrica, assim como precipitações durante a condução do experimento conferiram mudanças na umidade relativa do solo (Figura 24). Na sétima semana antes da colheita (e implementação do tratamento 7SRH), a umidade do solo registrada foi em torno de 15% para todas as parcelas úteis do experimento. Porém, na sexta semana antes da colheita, foi registrada uma precipitação de 28 mm, que elevou a umidade do solo para 16,5% em todas as parcelas.

**Figura 24** - Umidade relativa do solo (0-0,4 m) e precipitação durante a condução do experimento com mangas ‘Palmer’ produzidas no Vale do São Francisco sob diferentes semanas de restrição hídrica (SRH).



0 SRH - Sem restrição hídrica antes da colheita (controle); 3 SRH – 100% de restrição hídrica com início na 3ª semana antes da colheita; 5 SRH – 100% de restrição hídrica com início na 5ª semana antes da colheita; 7 SRH – 100% de restrição hídrica com início na 7ª semana antes da colheita. \*colheita das frutas de todos os tratamentos. As barras azuis representam a precipitação registrada durante a condução do experimento.

Na quinta semana antes da colheita e início do tratamento 5 SRH, a umidade do solo para este tratamento juntamente com o tratamento 7 SRH permaneceu próxima a 15%, enquanto para os demais tratamentos ficou em torno de 18%. Na quarta semana antes da colheita, foi registrada uma precipitação de 41 mm, o que equiparou a umidade do solo dos tratamentos 7 e 5 SRH em torno de 15%, enquanto que as parcelas dos demais tratamentos permaneceram com umidade em torno de 18%. Na terceira semana antes da colheita e início do tratamento 3 SRH, a umidade registrada foi abaixo de 15%, juntamente com os tratamentos 7 e 5 SRH, enquanto no tratamento controle (0 SRH) foi registrada umidade acima de 23%.

Na segunda semana antes da colheita foi registrada nova precipitação de 34 mm, com a umidade do solo permanecendo acima de 15% apenas para o tratamento controle. Por fim, no momento da colheita, o padrão se manteve, com a umidade do solo permanecendo acima de 15% apenas para o tratamento controle. O padrão

registrado foi esperado, visto que foi percebida a tendência geral de diminuição gradual da umidade do solo à medida em que os respectivos tratamentos de restrição hídrica foram implementados, com aumentos registrados devido às precipitações. A umidade do solo para o tratamento controle permaneceu elevada durante toda a condução do experimento devido principalmente à continuidade da irrigação regular.

Anderson, Subedi e Walsh (2017) conduziram um experimento de restrição hídrica para ganho de matéria seca em mangas 'Calypso', observando que eventos de precipitação acima de 20 mm resultaram em alterações na umidade do solo nos tratamentos de déficit hídrico, como também observado no presente trabalho. Também foi observado que uma precipitação pluviométrica acima de 40 mm resultou em um aumento no tamanho das frutas e diluição do teor de MS devido à absorção osmoticamente dirigida de água pelas frutas. Também houve uma diminuição temporária da taxa de acúmulo de MS, que foi retomada quando houve o reestabelecimento das condições de estresse hídrico. No presente trabalho, estes parâmetros não foram monitorados ao longo do desenvolvimento do experimento, porém, é possível hipotetizar que ocorreram os mesmos padrões.

### **5.3.2 Avaliação de parâmetros físico-químicos de mangas 'Palmer' no momento da colheita**

Os parâmetros L, C e h referentes à cor da casca, assim como os parâmetros L e C referentes à cor da polpa, não apresentaram ajuste de regressão ou significância a 5% de probabilidade pela ANAVA (Tabela 17), indicando que os tratamentos de restrição hídrica não exerceram influência sobre estes parâmetros. Rosalie et al. (2019) verificaram que os parâmetros relacionados à cor da polpa de mangas 'Cogshall' variaram de acordo com o estágio de colheita (1, 2 e 3) e o ano (2010, 2012 e 2013), mas não foram particularmente afetados pelo nível de déficit hídrico aplicado após a floração.

Os atributos de cor da casca e polpa em mangas são índices importantes no monitoramento do crescimento e da maturação de mangas (Lima; Silva; Azevedo, 2009), sendo *h* o parâmetro que possui mais aplicações práticas. Para a cor da casca, os valores de *h* para todos os tratamentos indicam que a tonalidade da casca variou entre o vermelho e o amarelo, que são cores características da variedade 'Palmer' (Tabela 17). No entanto, mangas 'Palmer' podem apresentar o desenvolvimento da

cor vermelha na casca de forma precoce, não sendo um indicativo exato para o ponto de colheita de frutas fisiologicamente maduras (Vannière; Rey; Vayssières, 2013). Além disso, a cor da casca em uma única fruta pode variar significativamente entre as suas duas faces no mesmo estágio de maturação, além de outros fatores como exposição ao sol que tende a causar uma redução no valor da tonalidade da casca para o vermelho (menor h) em comparação com o lado sombreado que tende a apresentar tons amarelos e verdes (maior h) (Nordey et al., 2014).

Por outro lado, os valores de h da polpa ajustaram-se em uma regressão quadrática ( $R^2=0,8896$ ) com variação entre  $98,57^\circ$  (0 SRH) a  $97,41^\circ$  (7 SRH), com valor mínimo ocorrendo entre 3 e 5 SRH (Figura 25A). Dessa forma, a aplicação dos tratamentos de restrição hídrica total pelo período entre 3 e 5 semanas resultou em cor de polpa levemente mais amarelada em comparação com as mangas dos tratamentos de 0 (controle) e 7 SRH. O desenvolvimento da coloração amarela da polpa é um índice seguro que indica o início do processo de amadurecimento, sendo um processo caracterizado por resultar gradualmente em decréscimos em L e h e aumento em C (Lima; Silva; Azevedo, 2009; Reis et al., 2021; Dieye et al., 2022). Em mangas, a coloração amarelada da polpa surge devido à degradação da clorofila e biossíntese de carotenoides durante o amadurecimento das frutas, sendo o  $\beta$ -caroteno o pigmento mais abundante, responsável por até 70% dos carotenoides totais na polpa (Yungyuen et al., 2021; Dieye et al., 2022).

Nesse contexto, alguns estudos traçaram, inclusive sob déficit hídrico, uma estreita relação entre o parâmetro h com o teor de carotenoides em mangas, indicando que este parâmetro pode ser utilizado para estimativa do teor de pigmentos como o  $\beta$ -caroteno e assim selecionar mangas para o processamento em produtos ricos em compostos benéficos à saúde (Vásquez-Caicedo et al., 2005; Rosalie et al., 2019; Yungyuen et al., 2021; Zuazo et al., 2021b; Dieye et al., 2022). Dessa forma, é sugerido que a aplicação dos tratamentos de restrição hídrica total no período entre 3 e 5 semanas antes da colheita possivelmente resultou em maiores teores de carotenoides na polpa de mangas 'Palmer', o que deve ser investigado em futuros trabalhos.

Os parâmetros de AT, SS/AT e PF também não apresentaram ajuste de regressão ou significância pela ANAVA (Tabela 17). A AT, expressa em porcentagem de ácido cítrico, varia de acordo com o grau de maturação e diminui gradualmente com o processo de amadurecimento, desempenhando um papel importante no sabor

e aroma da fruta, que são fortemente influenciados pela relação SS/AT, a qual deve ser elevada em frutas com alta qualidade (Khalifa, 2018; Zuazo et al., 2021b). No entanto, no presente trabalho, os tratamentos de restrição hídrica não exerceram influência sobre estes parâmetros, assim como também para o PF.

Em mangas, o aumento do peso da fruta ao longo do ciclo produtivo se deve provavelmente ao aumento do tamanho das células e do espaçamento intercelular, permitindo assim o máximo acúmulo possível de assimilados (Léchaudel et al., 2005; Madigu et al., 2009). Em condições de estresse hídrico, de modo geral, é relatado que em mangas há um efeito prejudicial durante os estágios de frutificação e crescimento das frutas, quando a demanda por fotoassimilados é elevada. Desse modo, a imposição de estresse hídrico pode afetar o desenvolvimento da manga, porém, a manga tem grande potencial de adaptação a um ambiente adverso (Zuazo et al., 2021a).

Rosalie et al. (2019) verificaram que o peso de mangas 'Cogshall' aumentou significativamente em função do estágio de maturação na colheita ( $R1 < R2 < R3$ ), porém, o uso de restrição hídrica após o florescimento das plantas resultou em diminuição no peso das frutas. Lipan et al. (2021) verificaram que mangas 'Osteen' submetidas à diferentes níveis de restrição hídrica apresentaram redução no peso em comparação ao tratamento controle (100% da ETc). Zuazo et al. (2021b) também verificaram que mangas 'Osteen' produzidas em plantas submetidas à irrigação com déficit severo (33% da ETc) apresentaram menor peso em relação ao controle.

Sendo assim, o aumento da intensidade de restrição hídrica, assim como o prolongamento do período de estresse são comumente relacionados à diminuição do peso das frutas, como verificado por Anderson, Subedi e Walsh (2017), onde a restrição hídrica imposta entre 6 e 8 semanas antes da colheita foram considerados muito agressivos, levando à diminuição do peso das frutas e comprometendo a qualidade de consumo.

Nesse sentido, no presente trabalho, o período de 0 (controle) a 7 semanas de negação de água antes da colheita não resultou em diminuição do peso das frutas, o que é benéfico, visto que os principais países produtores de mangas adotam padrões de classificação desenvolvidos de acordo com critérios qualitativos e quantitativos para mangas, exigindo uma forma e tamanho (peso em g) padronizados para cada categoria sendo as frutas com defeitos graves eliminadas. Estes critérios possibilitam o fornecimento de frutas de qualidade (ausência de defeitos) e conseqüentemente

definem o valor de mercado das frutas, visto que a aceitação do consumidor é maior para mangas livres de danos externos e deterioração, além de forma, cor e peso uniformes (Programa Brasileiro Para a Modernização da Horticultura, 2004; Jha et al., 2010; Lipan et al., 2021).

A FP variou entre 5,59 (0 SRH) a 6,08 Kg (7 SRH), sendo este parâmetro diretamente proporcional ao aumento do período de restrição hídrica (Figura 25B). Dessa forma, o aumento do período de restrição hídrica resultou em aumento da FP. Os presentes resultados estão de acordo com os de Madigu et al. (2009), onde a firmeza das frutas das árvores irrigadas e não irrigadas foi significativamente diferente, sendo estas últimas mais firmes. Além disso, houve alta correlação entre o aumento da FP e do amido,  $R^2 = 0,86$  e  $0,96$  para frutas de árvores irrigadas e não irrigadas, respectivamente. Resultados similares para FP também foram obtidos por Abdel-Razik (2012) e Khalifa (2018).

Segundo Zhong et al. (2019), o aumento da FP sob condições de déficit hídrico ocorre possivelmente porque há uma limitação da divisão e expansão das células da polpa, resultando em maior densidade de células na região. Além disso, o teor de água no solo insuficiente devido à suspensão da irrigação possivelmente inibe a atividade de enzimas relacionadas à degradação de celulose e de pectinas da parede celular das células das frutas. A textura em mangas é resultado do teor de amido, pectinas, celulose e hemiceluloses, que sofrem modificações à medida que a fruta amadurece, levando à diminuição da integridade da parede celular e conseqüentemente na FP (Yashoda; Prabha; Tharanathan, 2005; Yashoda; Prabha; Tharanathan, 2006).

O teor de SS variou entre 6,76 a 7,01 %, com valor máximo ocorrendo entre 3 e 5 SRH (Figura 25C). O teor de MS nas frutas também atingiu máximo valor entre 3 e 5 SRH, com decréscimo ocorrendo em 7 SRH (Figura 25D). Quando comparados ao tratamento controle (0 SRH), os tratamentos 3 e 5 SRH conferiram aumento de 1,35 e 1,32 % de MS, respectivamente. Os resultados obtidos para os parâmetros de SS e MS estão de acordo com os obtidos por Nagle et al. (2010), onde mangas provenientes de plantas não irrigadas apresentaram maiores teores de SS e MS em diferentes épocas de colheita, concluindo-se que a qualidade da manga é afetada pela irrigação.

Sendo assim, a prática de suspensão total da irrigação entre 3 e 5 semanas antes da colheita é uma prática promissora para mangas 'Palmer', nas condições de cultivo deste trabalho, visto que mangas colhidas com maiores teores de SS e MS,

resultam em maiores teores destes parâmetros nas frutas após o amadurecimento (Gianguzzi et al., 2021), e conseqüentemente resulta em maior qualidade de consumo (Saranwong; Sornsrivichai; Kawano, 2004; Freitas et al., 2022).

Os SS são constituídos em maior parte por açúcares no suco da fruta, mas também são constituídos por ácidos orgânicos, aminoácidos, compostos fenólicos e pectinas solúveis, sendo um parâmetro altamente influenciado pelo cronograma de irrigação e pelas chuvas. Dessa forma, mangas colhidas em campos sendo irrigados ou sob condições chuvosas tendem a apresentarem um teor de SS menor devido a um efeito de diluição quando comparadas a mangas em estágio semelhante de maturidade e colhidas em fazendas onde a irrigação é suspensa antes da colheita (National Mango Board, 2011).

A MS de uma fruta pode ser entendida como a junção do teor de amido, açúcares (presumidamente SS), paredes celulares e fibras, dentre outros componentes constantes, que é acumulada durante o crescimento e desenvolvimento da fruta e torna-se mais densa à medida que amadurece (Saranwong; Sornsrivichai; Kawano, 2004), podendo variar no pomar devido à irrigação e chuvas (Anderson; Subedi; Walsh, 2017), assim como durante o armazenamento devido às perdas de água e respiração das frutas (Nordey et al., 2016; Walsh, 2016; Nordey; Davrieux; Léchaudel, 2019).

No presente trabalho, percebeu-se redução nos teores de MS e SS com a aplicação de 7 SRH. Anderson, Subedi e Walsh (2017) reportaram que a negação de água entre 6 e 8 semanas antes da colheita resultou em diminuição dos teores de MS nas frutas, porém, a causa foi atribuída a uma precipitação que ocorreu um dia antes da medição, levando a uma absorção de água osmoticamente dirigida pelas frutas, resultando em diluição do teor de MS. No presente trabalho, nas duas semanas que antecederam a colheita não foram registradas precipitações. Dessa forma, a negação de água durante o período de 7 semanas antes da colheita possivelmente foi muito severa, influenciando negativamente na taxa fotossintética das plantas e na translocação de fotoassimilados nas frutas.

Andrade et al. (2023) apontaram que restrição hídrica aplicada na fase de maturação das frutas em mangueiras 'Kent' reduziu significativamente o teor de SS provavelmente devido à maior carga de frutas nas plantas, o que reduziu a relação fonte/dreno, distribuindo menos carboidratos por fruta. Por outro lado, segundo Liu et al. (2021), a aplicação de um déficit hídrico nas plantas durante o estágio de

maturação das mangas reduz o potencial hídrico das células das frutas, aumentando a capacidade destas em absorver água e nutrientes do exterior, aumentando o teor de SS (e conseqüentemente MS), vitamina C e o teor de carotenoides. Ou seja, determinados níveis de déficit hídrico aplicados no estágio de maturação podem favorecer o acúmulo de fotoassimilados em mangas (Zuazo et al., 2021a).

No entanto, o estresse hídrico pode afetar primeiramente o crescimento vegetativo e reprodutivo de mangueiras (Tahir et al., 2003), sendo a inibição da fotossíntese uma das principais conseqüências do déficit hídrico severo, que leva ao fechamento estomático em resposta à sinalização do ácido abscísico (ABA), culminando em redução da concentração intercelular de CO<sub>2</sub> e à longo prazo resultando em uma regulação negativa da maquinaria fotossintética para corresponder ao substrato de carbono disponível (Chaves et al., 2002; Pantin et al., 2013; Urban; Aarrouf; Bidet, 2017).

Além disso, segundo Ma et al. (2022), o teor de água na planta afeta grandemente a força dos drenos que pode ser medida através da atividade de enzimas metabólicas envolvidas no processo de síntese e transporte de açúcares (frutose, glicose e sacarose) para as frutas. Portanto, o teor de água da planta é extremamente importante para o acúmulo de açúcares nas frutas.

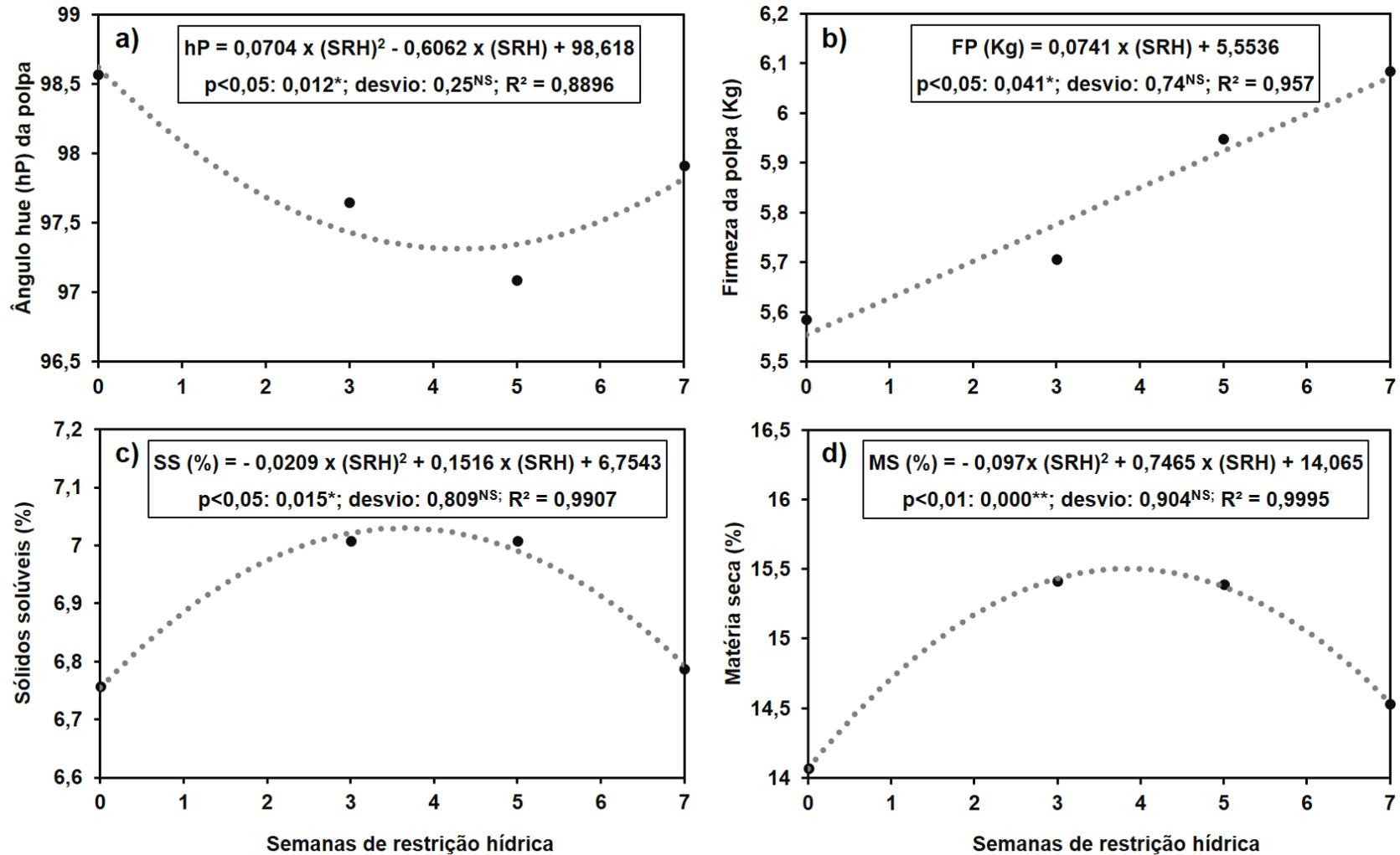
Sendo assim, é possível que nas plantas submetidas a 7 SRH houve redução da fotossíntese, que associada à menor relação fonte/dreno nas plantas e menor quantidade de água disponível para o transporte dos compostos orgânicos sintetizados pela fotossíntese entre as fontes e os drenos (frutas), possivelmente explica os menores teores de MS e SS obtidos para as frutas das plantas submetidas a este tratamento. Dessa maneira, o tratamento de 7 SRH possivelmente foi muito severo, não sendo recomendada a sua utilização para mangas 'Palmer' em condições de cultivo similares as deste estudo.

**Tabela 17** – Análises físico-químicas de mangas ‘Palmer’ produzidas no Vale do São Francisco sob diferentes semanas de restrição hídrica (SRH) antes da colheita.

Tratamento	LC	CC	hC	LP	CP	AT	SS/AT	PF
<b>0 SRH</b>	39,07	25,67	86,68	80,03	50,04	1,38	5,12	485,74
	(±6,02)	(±7,47)	(±30,38)	(±2,27)	(±5,90)	(±0,27)	(±1,39)	(±40,98)
<b>3 SRH</b>	36,70	22,51	80,70	80,67	51,52	1,26	5,65	508,18
	(±6,00)	(±7,98)	(±32,47)	(±2,52)	(±4,56)	(±0,16)	(±0,93)	(±47,66)
<b>5 SRH</b>	37,62	24,66	86,23	79,96	51,87	1,30	5,52	477,52
	(±6,24)	(±7,30)	(±31,67)	(±2,96)	(±4,99)	(±0,19)	(±0,95)	(±49,66)
<b>7 SRH</b>	38,68	25,17	86,48	80,37	51,04	1,31	5,51	475,92
	(±5,73)	(±6,78)	(±28,07)	(±2,21)	(±4,49)	(±0,29)	(±1,66)	(±44,93)
<b>n</b>	160	160	160	160	160	160	160	80
<b>CV (%)</b>	15,79	30,18	36,10	3,13	9,82	17,76	23,35	9,43
<b>Valor-p</b>	0,2864 <sup>ns</sup>	0,2425 <sup>ns</sup>	0,7856 <sup>ns</sup>	0,5603 <sup>ns</sup>	0,3927 <sup>ns</sup>	0,1682 <sup>ns</sup>	0,2836 <sup>ns</sup>	0,1080 <sup>ns</sup>

Tratamentos: 0 SRH - Sem restrição hídrica antes da colheita; 3 SRH – 100% de restrição hídrica com início na 3<sup>a</sup> semana antes da colheita; 5 SRH – 100% de restrição hídrica com início na 5<sup>a</sup> semana antes da colheita; 7 SRH – 100% de restrição hídrica com início na 7<sup>a</sup> semana antes da colheita. LC: luminosidade da casca. CC: cromaticidade da casca. hC: ângulo *hue* da casca. LP: luminosidade da polpa. CP: cromaticidade da polpa. AT: acidez titulável (%Hac.). SS/AT: relação sólidos solúveis/ acidez titulável (*ratio*). PF: peso dos frutos (g). n: número de amostras analisadas. CV: coeficiente de variação. ns: não significativo pela ANOVA a 5% de probabilidade ( $p>0,05$ ). Valores entre parênteses indicam o desvio padrão das médias.

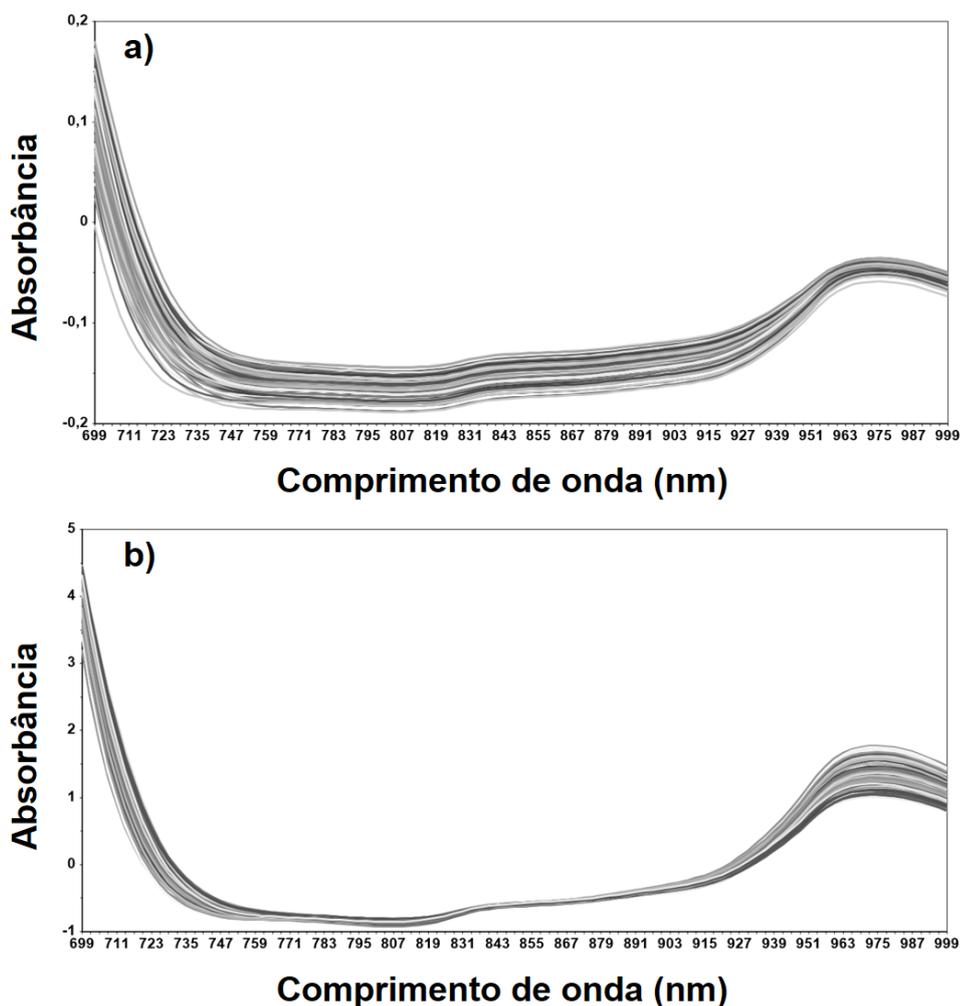
**Figura 25** – Análises físico-químicas de mangas ‘Palmer’ produzidas no Vale do São Francisco sob diferentes semanas de restrição hídrica (SRH) antes da colheita. \*Significativo a 5% de probabilidade. \*\*Significativo a 1% de probabilidade. ns: não significativo a 1 ou 5% de probabilidade ( $p > 0,01$  ou  $p > 0,05$ ).



### 5.3.3 Construção do modelo de MS

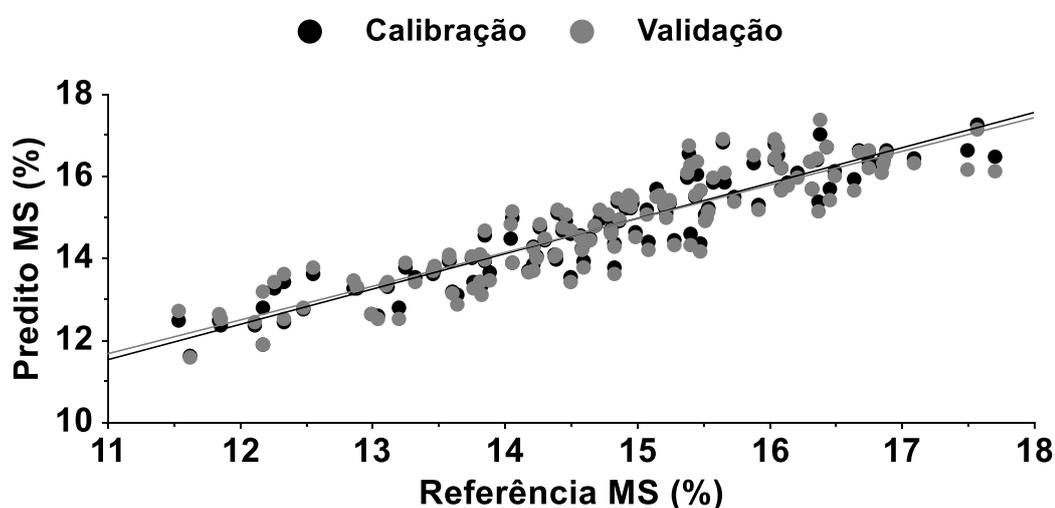
A faixa espectral registrada pelo espectrômetro F-750 foi de 400 a 1100 nm, porém percebeu-se a presença de regiões espectrais com ruídos, que desta forma, não foram utilizadas. Desse modo, a faixa espectral utilizada para as análises foi de 699 a 999 nm (Figura 26A). Os dados espectrais foram pré-processados através da técnica SNV (*Standard Normal Variate*) para eliminar os efeitos aleatórios ocasionados pelo espalhamento de luz (Figura 26B). O pico de absorção centrado aproximadamente em 970 nm é relacionado às vibrações de estiramento de ligações O-H presentes na água e pôde ser observado (Magwaza et al., 2012; Marques et al., 2016; Nordey et al., 2017; Kusumiyati; Munawar; Suhandy, 2021).

**Figura 26** – Espectros de absorbância brutos (sem pré-processamentos) (A) e pré-processados por SNV (B) provenientes de 160 amostras de mangas ‘Palmer’, registrados utilizando o espectrômetro F-750.



O modelo preditivo desenvolvido para MS foi satisfatório. O gráfico contendo os valores obtidos pelo método de referência *versus* os valores previstos pelo modelo de calibração é mostrado na Figura 27. O valor de RMSEC foi de 0,51 e RMSECV de 0,64 e o  $R^2_{cal}$  obtido foi de 0,86 e  $R^2_{vc}$  0,79 (Tabela 18). Marques et al. (2016) relataram a construção de um modelo preditivo de MS para mangas ‘Tommy Atkins’ através de espectros aferidos com o espectrômetro MicroNIR 1700 na faixa espectral de 950 a 1650 nm. O valor obtido para  $R^2_{vc}$  foi igual a 0,75 e RMSECV igual a 0,58%. Dos Santos Neto et al. (2017) reportaram a construção de um modelo preditivo de MS para mangas ‘Palmer’ através de espectros aferidos com o espectrômetro F-750 operando na faixa espectral de 699 a 981 nm. O  $R^2_{vc}$  obtido foi de 0,84, RMSECV de 0,88%.

**Figura 27** – Matéria seca de mangas ‘Palmer’ determinada com método de referência e preditos com o uso do espectrômetro F-750. Modelo desenvolvido por calibração multivariada (regressão por PLS). Dados de calibração (círculos pretos) e dados de validação cruzada (círculos cinzas). As linhas sólidas representam as retas de regressão.



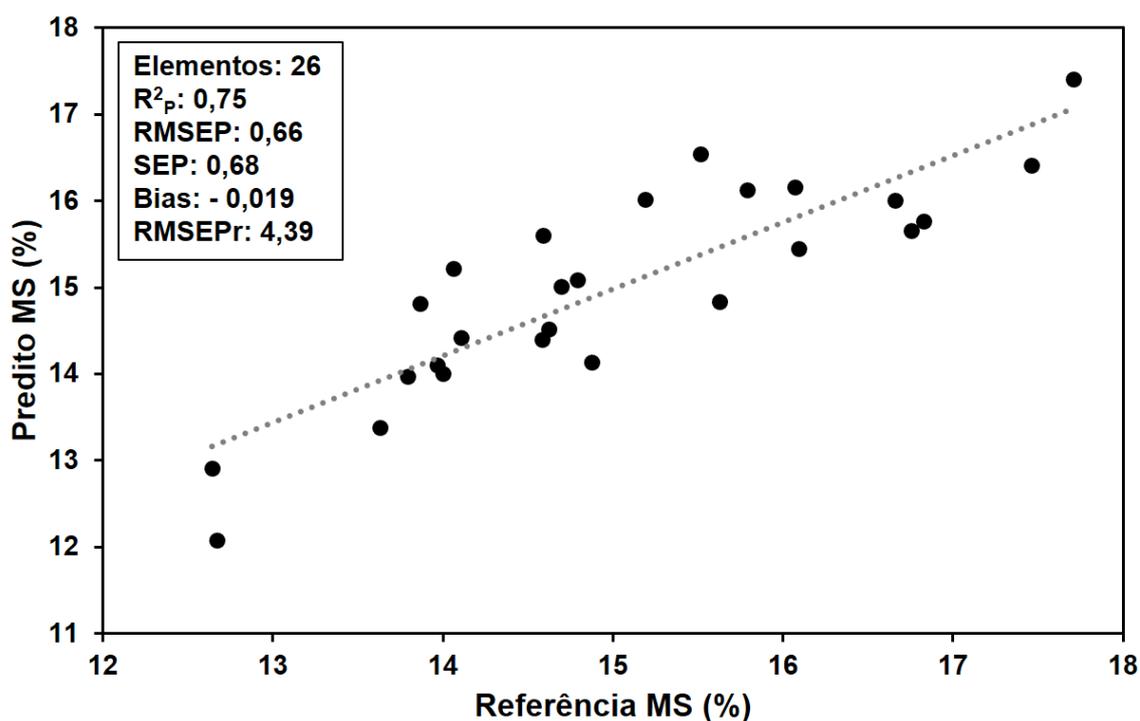
**Tabela 18** – Parâmetros do modelo de calibração multivariada desenvolvido por regressão PLS para a determinação de matéria seca (MS) em mangas ‘Palmer’, utilizando o espectrômetro F-750.

<b>Calibração</b>	
<b>Número de amostras analisadas</b>	122
<b>Faixa (valor médio) %</b>	11,53 – 17,70 (14,73)

<b>Pré-processamento dos dados espectrais</b>	SNV
<b>Número de fatores ou variáveis latentes</b>	11
<b>Outliers<sup>a</sup></b>	6
<b>R<sup>2</sup><sub>cal</sub></b>	0,86
<b>RMSEC*</b>	0,51
<b>R<sup>2</sup><sub>vc</sub></b>	0,79
<b>RMSECV**</b>	0,64

O desempenho preditivo na etapa de validação externa também foi satisfatório, com  $R^2_P$ , SEP, RMSEP e RMSEPr iguais a 0,75, 0,68%, 0,66% e 4,39%, respectivamente (Figura 28). Os resultados foram relativamente semelhantes aos relatados por Saranwong, Sornsrivichai e Kawano (2004) que utilizaram um instrumento de bancada operando na faixa espectral entre 700 e 1100 nm para analisar mangas 'Mahajanaka'. Os valores de SEP e  $R^2_P$  foram iguais a 0,41% e 0,92, respectivamente. Os resultados obtidos por Marques et al. (2016) na etapa de validação externa para  $R^2_P$ , RMSEP e RMSEPr foram iguais a 0,57, 0,54% e 4,3%, respectivamente.

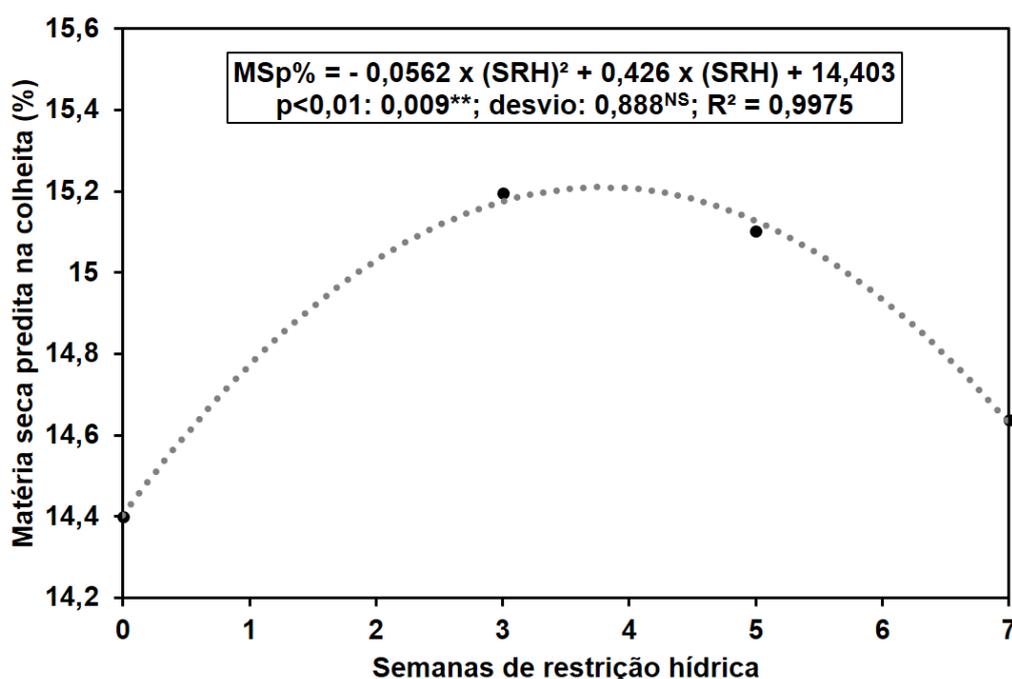
**Figura 28** – Validação externa do modelo de MS construído para mangas 'Palmer' submetidas a diferentes semanas de restrição hídrica.



No entanto, Nagle et al. (2010) relataram o desenvolvimento de modelos de calibração insatisfatórios para MS em mangas submetidas ao estresse hídrico antes da colheita. Os valores para  $R^2_{cal}$ , RMSEC e RMSEP foram iguais a 0,35, 4,59% e 4,51%, respectivamente, sendo sugerido que o estresse hídrico ocasionou mudanças no espaçamento intercelular das células das frutas, resultando em mudanças nas propriedades de espalhamento da luz e interferindo nas medidas não destrutivas de MS. Por outro lado, os resultados do presente trabalho foram condizentes com os resultados obtidos por Anderson, Subedi e Walsh (2017), que obtiveram um modelo de MS não destrutiva de elevada qualidade para mangas submetidas a diferentes semanas de negação de água antes da colheita, com  $R^2_P = 0,82$  e RMSEP = 0,52%.

De modo geral, o desempenho do modelo de MS construído no presente trabalho e os previamente relatados na literatura considerados como de elevada precisão são bastante similares. Através do modelo de predição do teor de MS construído, foi possível prever o teor de MS na colheita das mangas antes do amadurecimento (item 5.2.4). Constatou-se que houve o mesmo padrão observado anteriormente (análises destrutivas de MS), onde o teor de MS predita nas frutas também atingiu máximo valor entre 3 e 5 SRH (acima de 15%), com decréscimo ocorrendo em 7 SRH (Figura 29).

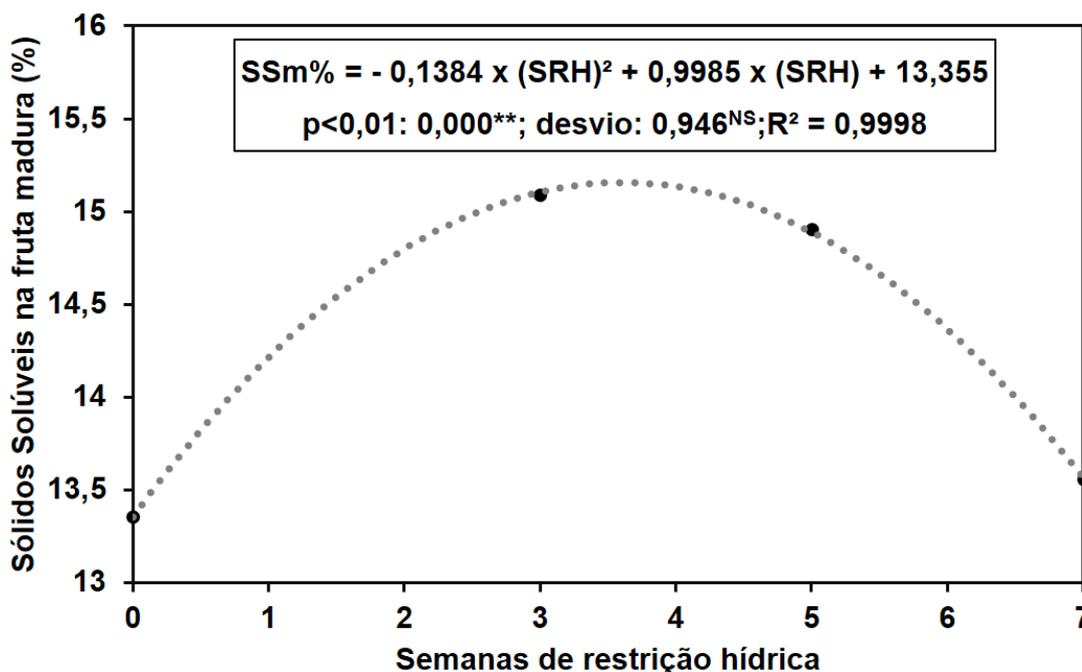
**Figura 29** – Matéria seca predita em mangas ‘Palmer’ submetidas a diferentes semanas de restrição hídrica (SRH). \*\*Significativo a 1% de probabilidade.



### 5.3.4 Avaliação de SS de mangas ‘Palmer’ após o amadurecimento

Após o amadurecimento das mangas, o teor de SS na polpa das frutas variou entre 13,36 a 15,03 %, com valor máximo ocorrendo entre 3 e 5 SRH, porém com redução em 7 SRH (13,56%) (Figura 30). O teor de SS nas mangas maduras é frequentemente associado à qualidade gustativa da fruta, sendo essenciais as práticas que alterem positivamente este parâmetro. O resultado obtido está de acordo com os resultados relatados na literatura para a utilização de diferentes estratégias de restrição hídrica para aumentar a qualidade de mangas (Abdel-Razik, 2012; Anderson; Subedi; Walsh, 2017; Lipan et al., 2021; Liu et al., 2021; Rosalie et al., 2019; Zuazo et al., 2021b). A redução ocorrida em 7 SRH possivelmente está relacionada à uma maior severidade da condição de restrição hídrica imposta, como discutido anteriormente.

**Figura 30** – Teor de sólidos solúveis após o amadurecimento em mangas ‘Palmer’ produzidas no Vale do São Francisco sob diferentes semanas de restrição hídrica (SRH) antes da colheita. \*\*Significativo a 1% de probabilidade. ns: não significativo a 5% de probabilidade ( $p > 0,05$ ).



A adoção de práticas de restrição hídrica pode contribuir para uma gestão eficiente e sustentável dos recursos hídricos, inclusive em regiões semiáridas, onde a disponibilidade de água pode se tornar mais limitada (Zuazo et al., 2021a). Estas

práticas podem aumentar a qualidade das frutas, levando a um maior teor de açúcares em mangas maduras. No entanto, são estratégias que a depender da intensidade utilizada também podem afetar negativamente o peso ou a qualidade das frutas, sendo necessário otimizar a prática de restrição hídrica para cada genótipo e condições de cultivo (Lipan et al., 2021; Liu et al., 2021). Neste cenário, a recomendação para mangas ‘Palmer’ é a adoção da suspensão da irrigação no período entre 3 a 5 semanas antes da colheita, a fim de assegurar maiores teores de SS nas frutas após o amadurecimento, possibilitando uma melhor gestão de recursos hídricos no campo e garantindo a melhor qualidade das frutas.

### **5.3.5 Relação entre MS predita na colheita e SS nas frutas após o amadurecimento**

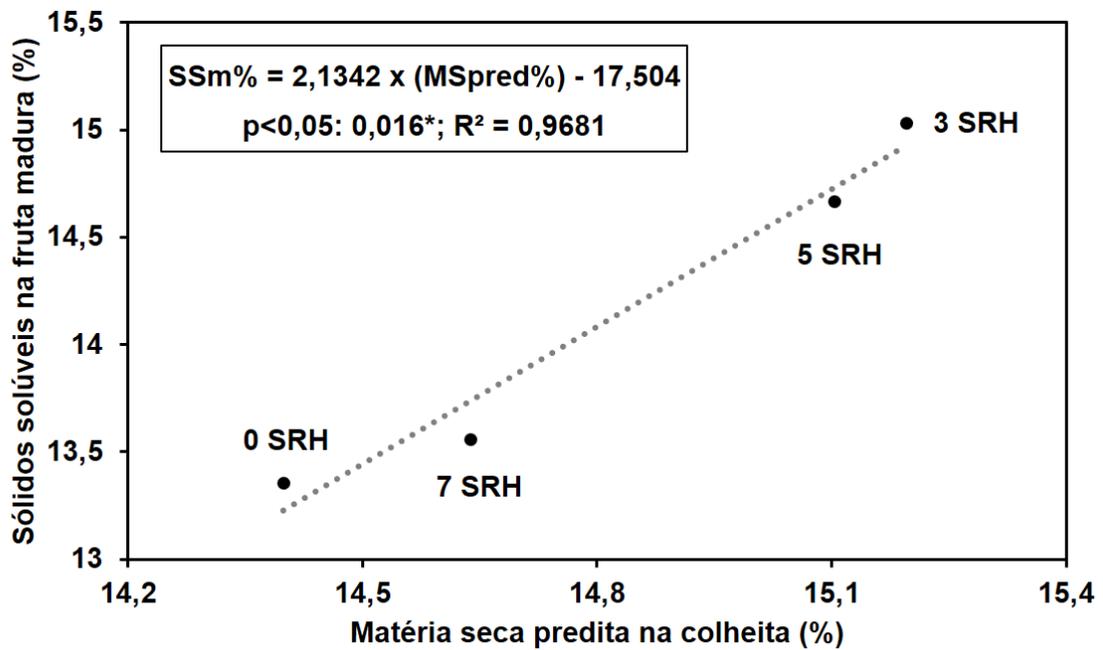
A MS determinada de forma não destrutiva no momento da colheita (MSpred%) se correlacionou fortemente com o teor de SS determinados destrutivamente nas frutas maduras (SSm%) ( $R^2 = 0,9681$ ; valor-p = 0,016\*) (Figura 31). Assim, os tratamentos de 3 e 5 SRH resultaram tanto em maior MS das frutas na colheita como em maior teor de SS das frutas após o amadurecimento. Os resultados são similares aos obtidos por Anderson; Subedi e Walsh (2017) em mangas ‘Calypso’, onde a MSpred% no momento da colheita foi maior para as frutas submetidas à restrição hídrica e também onde o mesmo fato ocorreu para SSm%, com os dois parâmetros sendo altamente correlacionados ( $R^2 = 0,72$ ). Estes resultados confirmam que a restrição hídrica não altera a alta correlação positiva entre os teores de MS na colheita e os teores de SS em mangas maduras.

A MS de mangas durante a colheita é bem correlacionada com os SS e consequentemente com a qualidade de consumo das frutas após o amadurecimento (Hofman et al., 2011). Nesse sentido, a colheita de mangas com o teor mínimo de MS de 15% garante a qualidade mínima necessária para o consumo após o amadurecimento, correspondendo a um teor de SS  $\geq 14\%$  (AMIA, 2016; Walsh, 2016).

Nesse sentido, somente as mangas submetidas aos tratamentos de 3 e 5 SRH atingiram os padrões mínimos de qualidade de colheita e de consumo após o amadurecimento. Dessa forma, a adoção da prática de restrição hídrica de 3 a 5 semanas antes da colheita resulta em maior MS e consequentemente em maior qualidade de consumo de mangas ‘Palmer’ após o amadurecimento, que com o auxílio

do modelo não destrutivo de predição de qualidade altamente preciso caracterizam uma abordagem altamente promissora para a mangicultura no Vale do São Francisco, com potencial para poupar recursos hídricos no campo e elevar a satisfação do consumidor através da seleção e fornecimento de frutas de elevada qualidade.

**Figura 31** – Correlação entre MS predita através do espectrômetro F-750 no momento da colheita e teor de SS de mangas ‘Palmer’ maduras submetidas diferentes semanas de restrição hídrica (SRH) antes da colheita. SSm%: Teor de sólidos solúveis em mangas ‘Palmer’ maduras. MSp%: Teor de matéria seca predita em mangas ‘Palmer’ no momento da colheita.



#### 5.4 CONCLUSÕES

O uso de restrição hídrica em mangas 'Palmer' entre o período de 3 a 5 semanas antes da colheita resulta em maior teor de MS nas frutas e conseqüentemente em maior qualidade de consumo após o amadurecimento, aumentando também o uso eficiente de água da cultura.

A predição da qualidade de consumo de mangas 'Palmer' submetidas à restrição hídrica pode ser realizada de modo não destrutivo nas frutas na maturação fisiológica de colheita, caracterizando um método altamente promissor para a mangicultura no Vale do São Francisco.

## REFERÊNCIAS

- ABDEL-RAZIK, A. M. Effect of different irrigation regimes on quality and storability of mango fruits (*Mangifera indica* L.). **J. Hort. Sci. Orn. Plants**, v. 4, n. 3, p. 247-252, 2012.
- ADU, M. O. *et al.* Does water-saving irrigation improve the quality of fruits and vegetables? Evidence from meta-analysis. **Irrigation Science**, v. 37, p. 669-690, 2019.
- AMIA. **Mango Industry Quality Standards**, 2016. Disponível em: <<https://www.industry.mangoes.net.au/resources/resources-library/mango-industry-quality-standards/>>. Acesso em: 14 dez. 2023.
- ANDERSON, N. T. *et al.* Achieving robustness across season, location and cultivar for a NIRS model for intact mango fruit dry matter content. **Postharvest Biology and Technology**, v. 168, p. 111202, 2020.
- ANDERSON, N. T.; SUBEDI, P. P.; WALSH, K. B. Manipulation of mango fruit dry matter content to improve eating quality. **Scientia Horticulturae**, v. 226, p. 316-321, 2017.
- ANDRADE, V. P. M. de *et al.* Gas exchange and post-harvest quality of 'Kent' mango subjected to controlled water deficit in semi-arid region. **Revista Caatinga**, v. 36, p. 158-166, 2023.
- CHAVES, M. M. *et al.* How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth. **Annals of botany**, v. 89, n. 7, p. 907, 2002.
- DIEYE, M. *et al.* Storage time as an index for varietal prediction of mango ripening: A systemic approach validated on five senegalese varieties. **Foods**, v. 11, n. 23, p. 3759, 2022.
- DOS SANTOS NETO, J. P. *et al.* Determination of 'Palmer' mango maturity indices using portable near infrared (VIS-NIR) spectrometer. **Postharvest Biology and Technology**, v. 130, p. 75-80, 2017.

FREITAS, S. T. de *et al.* Mango dry matter content at harvest to achieve high consumer quality of different cultivars in different growing seasons. **Postharvest Biology and Technology**, v. 189, p. 111917, 2022.

GIANGUZZI, G. *et al.* Effect of harvest date on mango (*Mangifera indica* L. cultivar osteen) fruit's qualitative development, shelf life and consumer acceptance. **Agronomy**, v. 11, n. 4, p. 811, 2021.

GOKE, A.; SERRA, S.; MUSACCHI, S. Manipulation of fruit dry matter via seasonal pruning and its relationship to d'Anjou pear yield and fruit quality. **Agronomy**, v. 10, n. 6, p. 897, 2020.

HOFMAN, P. J. *et al.* Development of Best Practice Pre and Postharvest Protocols for Production of Calypso Mango: Phase 2. Project Number: MG06005. **Sunshine Horticultural Services**, 2011. Disponível em: <<https://www.horticulture.com.au/globalassets/hort-innovation/historic-reports/development-of-best-practice-pre-and-post-harvest-protocols-for-production-of-calypso-mango---phase-2-mg06005.pdf>>. Acesso em: 14 dez. 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manga: área plantada e quantidade produzida**. Brasília, DF: IBGE, 2021 (Produção agrícola municipal, 2021). Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 06 out. 2023.

JHA, S. N. *et al.* Quality parameters of mango and potential of non-destructive techniques for their measurement—a review. **Journal of food science and technology**, v. 47, p. 1-14, 2010.

KHALIFA, S. M. Effect of different irrigation regimes on yield and fruit quality of two mango cultivars. **J Biol Chem Environ Sci**, v. 13, n. 3, p. 115-132, 2018.

KUSUMIYATI, K.; MUNAWAR, A. A.; SUHANDY, D. Fast, simultaneous and contactless assessment of intact mango fruit by means of near infrared spectroscopy. **AIMS Agriculture and Food**, v. 6, n. 1, p. 172-184, 2021.

LÉCHAUDEL, M. *et al.* Leaf: fruit ratio and irrigation supply affect seasonal changes in minerals, organic acids and sugars of mango fruit. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 85, n. 2, p. 251-260, 2005.

LIMA, M. A. C. de; SILVA, A. L. da; AZEVEDO, S. S. N. Evolução de indicadores do ponto de colheita em manga 'Tommy Atkins' durante o crescimento e a maturação, nas condições do vale do São Francisco, Brasil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, p. 432-439, 2009.

LIPAN, L. *et al.* Can sustained deficit irrigation save water and meet the quality characteristics of mango?. **Agriculture**, v. 11, n. 5, p. 448, 2021.

LIU, X. *et al.* Determining optimal deficit irrigation and fertilization to increase mango yield, quality, and WUE in a dry hot environment based on TOPSIS. **Agricultural Water Management**, v. 245, p. 106650, 2021.

MA, W. F. *et al.* Changes and response mechanism of sugar and organic acids in fruits under water deficit stress. **PeerJ**, v. 10, p. e13691, 2022.

MADIGU, N. O. *et al.* Physiology and quality characteristics of mango (*Mangifera indica* L.) fruit grown under water deficit conditions. In: **Asia Pacific Symposium on Assuring Quality and Safety of Agri-Foods 837**. 2009. p. 299-304.

MAGWAZA, L. S. *et al.* NIR spectroscopy applications for internal and external quality analysis of citrus fruit - a review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, p. 425-444, 2012.

MARQUES, E. J. N. *et al.* 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.

MOUCO, M. A. do C; LIMA NETO, F. P. A mangueira no Vale do São Francisco. **Boletim Frutícola**, v1, p.1-11, 2018.

MUSACCHI, S.; SERRA, S. Apple fruit quality: Overview on pre-harvest factors. **Scientia Horticulturae**, v. 234, p. 409-430, 2018.

NAGLE, M. *et al.* Effect of irrigation on near-infrared (NIR) based prediction of mango maturity. **Scientia Horticulturae**, v. 125, n. 4, p. 771-774, 2010.

NATIONAL MANGO BOARD. How To Choose A Mango. **National Mango Board**, 2023. Disponível em: <<https://www.mango.org/choose-a-mango/>>. Acesso em: 14 dez. 2023.

NATIONAL MANGO BOARD. Manual de Práticas para o Melhor Manejo Pós-Colheita da Manga. **National Mango Board**, 2011. Disponível em: <<https://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/hs/hs119400.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2023.

NORDEY, T. *et al.* Factors affecting ethylene and carbon dioxide concentrations during ripening: Incidence on final dry matter, total soluble solids content and acidity of mango fruit. **Journal of plant physiology**, v. 196, p. 70-78, 2016.

NORDEY, T. *et al.* Robust NIRS models for non-destructive prediction of mango internal quality. **Scientia Horticulturae**, v. 216, p. 51-57, 2017.

NORDEY, T. *et al.* Spatial and temporal variations in mango colour, acidity, and sweetness in relation to temperature and ethylene gradients within the fruit. **Journal of plant physiology**, v. 171, n. 17, p. 1555-1563, 2014.

NORDEY, T.; DAVRIEUX, F.; LÉCHAUDEL, M. Predictions of fruit shelf life and quality after ripening: Are quality traits measured at harvest reliable indicators?. **Postharvest Biology and Technology**, v. 153, p. 52-60, 2019.

PANTIN, F. *et al.* Buffering growth variations against water deficits through timely carbon usage. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, p. 483, 2013.

PROGRAMA BRASILEIRO PARA A MODERNIZAÇÃO DA HORTICULTURA. **Normas de Classificação de Manga**. Centro de Qualidade em Horticultura, São Paulo, CEAGESP: 2004, p. 6 (CQH. Documentos, 28).

REIS, R. C. *et al.* Physical, chemical and sensory attributes of fruits of ten mango varieties grown under organic production system. **Revista Caatinga**, v. 34, p. 452-459, 2021.

RIPOLL, J. *et al.* Water shortage and quality of fleshy fruits – making the most of the unavoidable. **Journal of Experimental Botany**, v. 65, n. 15, p. 4097-4117, 2014.

ROSALIE, R. *et al.* Could the reliability of classical descriptors of fruit quality be influenced by irrigation and cold storage? The case of mango, a climacteric fruit. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, n. 8, p. 3792-3802, 2019.

SANTOS, D. B. *et al.* Caracterização físico-química dos estádios de maturação da manga 'Tommy Atkins' produzida no município de Iaçu-BA. **Magistra**, v. 20, p. 342-348, 2008.

SARANWONG, S; SORNSRIVICHAI, J; KAWANO, S. Prediction of ripe-stage eating quality of mango fruit from its harvest quality measured nondestructively by near infrared spectroscopy. **Postharvest biology and technology**, v. 31, n. 2, p. 137-145, 2004.

SUBEDI, P. P.; WALSH, K. B.; OWENS, G. Prediction of mango eating quality at harvest using short-wave near infrared spectrometry. **Postharvest Biology and Technology**, v. 43, n. 3, p. 326-334, 2007.

TAHIR, F. M. *et al.* Effect of drought stress on vegetative and reproductive growth behaviour of mango (*Mangifera indica* L.). **Asian Journal of Plant Sciences (Pakistan)**, v. 2, n. 1, 2003.

URBAN, L.; AARROUF, J.; BIDEL, L. P. R. Assessing the effects of water deficit on photosynthesis using parameters derived from measurements of leaf gas exchange and of chlorophyll a fluorescence. **Frontiers in plant science**, v. 8, p. 2068, 2017.

VANNIÈRE, H., REY J.Y.; VAYSSIÈRES, J.F. Mango technical itinerary (*Mangifera indica* L.). **COLEACP PIP program**, 2013. Disponível em: <<https://agritrop.cirad.fr/573091/>>. Acesso em: 14 out. 2023.

VÁSQUEZ-CAICEDO, A. L. *et al.* Accumulation of all-trans- $\beta$ -carotene and its 9-cis and 13-cis stereoisomers during postharvest ripening of nine Thai mango cultivars. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 12, p. 4827-4835, 2005.

WALSH, K.B. Dry matter matters, 2016. Disponível em: <<https://www.industry.mangoes.net.au/resources/resources-library/dry-matter-matters/>>. Acesso em: 14 dez. 2023.

YASHODA, H. M.; PRABHA, T. N.; THARANATHAN, R. N. Mango ripening – chemical and structural characterization of pectic and hemicellulosic polysaccharides. **Carbohydrate Research**, v. 340, n. 7, p. 1335-1342, 2005.

YASHODA, H. M.; PRABHA, T. N.; THARANATHAN, R. N. Mango ripening: changes in cell wall constituents in relation to textural softening. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86, n. 5, p. 713-721, 2006.

YUNGYUEN, W. *et al.* Carotenoid accumulation and the expression of carotenoid metabolic genes in mango during fruit development and ripening. **Applied Sciences**, v. 11, n. 9, p. 4249, 2021.

ZHONG, Yun *et al.* Response of fruit yield, fruit quality, and water use efficiency to water deficits for apple trees under surge-root irrigation in the Loess Plateau of China. **Agricultural Water Management**, v. 222, p. 221-230, 2019.

ZUAZO, V. H. D. *et al.* Deficit irrigation strategies for subtropical mango farming. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 41, n. 1, p. 13, 2021a.

ZUAZO, V. H. D. *et al.* Mango fruit quality improvements in response to water stress: implications for adaptation under environmental constraints. **Horticultural Science**, v. 48, n. 1, p. 1-11, 2021b.