

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**OTIMIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTO
SOB ATMOSFERA CONTROLADA DE MANGAS ‘PALMER’
DESTINADAS À EXPORTAÇÃO**

João Paixão dos Santos Neto
Tecnólogo em Alimentos

2018

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**OTIMIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTO
SOB ATMOSFERA CONTROLADA DE MANGAS ‘PALMER’
DESTINADAS À EXPORTAÇÃO**

João Paixão dos Santos Neto

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Henrique de Almeida Teixeira

Coorientador: Profa. Dra. Priscila Lupino Gratão

**Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de
Jaboticabal, como parte das exigências
para a obtenção do título de Doutor em
Agronomia (Produção Vegetal).**

2018

Santos Neto, João Paixão dos

S2370

Otimização das condições de armazenamento sob atmosfera controlada de mangas 'Palmer' destinadas à exportação / João Paixão dos Santos Neto. -- Jaboticabal, 2018

165 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Gustavo Henrique de Almeida Teixeira

Coorientadora: Priscila Lupino Gratão

1. Mangífera indica. 2. Espectroscopia no infravermelho próximo (NIR). 3. Espectrômetros NIR portáteis. 4. PLSR. 5. Quimiometria. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

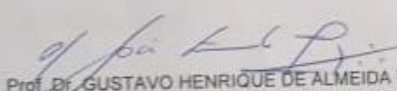
TÍTULO DA TESE: OTIMIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTO SOB ATMOSFERA CONTROLADA DE MANGAS 'PALMER' DESTINADAS À EXPORTAÇÃO

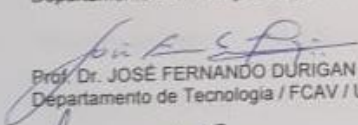
AUTOR: JOÃO PAIXÃO DOS SANTOS NETO

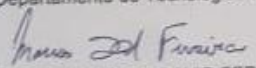
ORIENTADOR: GUSTAVO HENRIQUE DE ALMEIDA TEIXEIRA

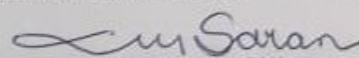
COORIENTADORA: PRISCILA LUPINO GRATÃO

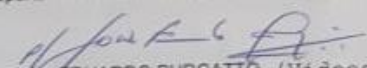
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. GUSTAVO HENRIQUE DE ALMEIDA TEIXEIRA (Videoconferência)
Departamento de Produção Vegetal / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. JOSÉ FERNANDO DURIGAN
Departamento de Tecnologia / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. MARCOS DAVID FERREIRA
EMBRAPA-Instrumentação Agropecuária / São Carlos - SP


Profa. Dra. LUCIANA MARIA SARAN
Departamento de Tecnologia / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. EDUARDO PURGATTO (Videoconferência)
Departamento de Alimentos e Nutrição Experimental/FCF-USP / São Paulo/SP

Jaboticabal, 10 de outubro de 2018

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

JOÃO PAIXÃO DOS SANTOS NETO, natural de Maceió, Estado de Alagoas, nasceu em 25 de setembro de 1990. Graduiu-se em Tecnologia em Alimentos pelo Instituto Federal de Alagoas (IFAL), Campus de Maceió (2009-2013). Foi bolsista do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) desenvolvendo os projetos “Estudo da ação do ozônio na oxidação da deltametrina utilizada na irrigação de frutas” (2010), “Potencial carcinogênico da deltametrina baseado no modelo químico-quântico” (2011) e “Desenvolvimento de novos sensores químicos a base de ácido ferúlico para detecção e quantificação de ácido ascórbico e ácido úrico” (2013). Em agosto de 2014, ingressou no curso de Mestrado Profissional do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos do Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM), obtendo o título de Mestre em setembro de 2016, com a dissertação intitulada “Ocorrência de aeróbios mesófilos, coliformes e *Salmonella sp.*, em ovos comerciais higienizados por diferentes métodos”. Em agosto de 2015, ingressou no curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), da Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal (UNESP/FCAV), com bolsa CAPES, posteriormente ingressou no curso de Doutorado (Doutorado Direto) na mesma instituição, em setembro de 2016. Foi bolsista de Doutorado da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo 2015/25631-9.

NORDESTINO (adj.)

é quem tem a alma forte.

é quem assusta a própria seca.

é quem respira cultura.

é a planta que conhece a própria (e boa) raiz.

Filhos e filhas do sol.

é o povo da culinária bonita e do sotaque gostoso.

É quem chama por mãinha, sinônimo de dedicação.

é quem sente orgulho de onde nasceu (e precisou sair, e sente saudade de onde cresceu).

João Doederlein

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo cuidado dispensado a mim, na conquista de mais um objetivo.

A minha mãe, Luzenir Paixão dos Santos pelo amor incondicional.

Ao meu primo-tio José Severino (Severo) pelo apoio e incentivo nesta jornada.

As minhas irmãs, Joanny e Jackelliny, por se fazerem presentes mesmo estando distantes fisicamente.

Aos meus sobrinhos, Maria Ryta, Cicero Hiago e Lorenzo Gabriel fontes de inspiração.

À UNESP/FCAV e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), por todas as oportunidades que me proporcionaram.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) - processo 2015/25631-9, pela concessão de bolsa de doutorado.

Ao professor Dr. Gustavo Henrique de Almeida Teixeira, pelos valiosos ensinamentos, confiança, pelo exemplo de profissional e pela disponibilidade na realização deste trabalho.

Ao professor Dr. Luis Carlos Cunha Júnior pelos ensinamentos de quimiometria e disponibilidade para realização deste trabalho.

Ao professor Dr. José Carlos Barbosa, pela atenção e auxílio na realização das análises estatísticas.

Aos membros da banca examinadora da qualificação, Profa. Dra. Priscila Lupino Gratão, Prof. Dr. Luis Carlos Cunha Júnior, Profa. Dra. Vanessa Cury Galati e a Profa. Dra. Cristiane Maria Ascari Morgado por todas as contribuições para este trabalho.

Ao amigo Marcondes Lopes Leite, que tanto colaborou e me incentivou na realização deste trabalho.

À empresa Vale das Mangas Agro Comercial Importação e Exportação Ltda. em nome do Sr. Hermes e Rodrigo Pinhatti, pelo fornecimento dos frutos utilizados em nossos experimentos.

Aos colegas do “Churras da Roberta” que estiveram presentes, contribuindo com seus ensinamentos, disposição e amizade, Natália Sarmanho, Bruna Fernanda, Roberta Mendes, Rita de Cassia e Samira.

Aos funcionários da UNESP/FCAV, Rosane Innocente (secretária do Departamento de Produção Vegetal – Horticultura), Sidney Bedim (assistente do Ripado de Fruticultura), Servidone, Wagner (Bola) pela amizade e atenção no dia a dia.

Ao companheiro Eder Vasconcelos, por fazer meus dias serem especiais.

Enfim, a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, muito obrigado!

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS	xi
RESUMO.....	xii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO 1 – Considerações gerais	1
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1 A manga	4
2.2 Ponto de colheita	5
2.3 Indicadores de maturidade	6
2.3.1 Formato e aparência externa do fruto	8
2.3.1 Floração.....	9
2.3.2 Gravidade específica	9
2.3.3 Cor da casca e da polpa	10
2.2.4 Firmeza.....	14
2.2.3 Matéria-seca (MS)	17
2.3.4 Sólidos solúveis (SSC)	19
2.3.5 Acidez titulável (AT) e pH	22
2. 4 Armazenamento sob atmosfera controlada (AC)	23
3. Espectroscopia na região do infravermelho próximo (NIRS).....	30
3.1 Quimiometria	36
3.1.1 Análise de Componentes Principais (PCA)	38
3.1.2 Calibração multivariada	39
3.1.3 Métodos de regressão	41
3.1.3.1 Regressão por Mínimos Quadrados Parciais (PLSR)	41
3.1.3.2 Regressão por Vetores de Suporte (SVR)	42
3.1.4 Parâmetros que indicam a qualidade de um modelo multivariado	44
5. REFERÊNCIAS	45
CAPÍTULO 2 – Determination of ‘Palmer’ mango maturity indices using portable near infrared (VIS-NIR) spectrometer	67

Abstract	67
1. Introduction	67
2. Material and Methods	70
3. Results and discussion	72
4. Conclusions	77
References	77
CAPÍTULO 3 – Cold storage of ‘Palmer’ mangoes sorted based on dry matter content using portable near infrared (VIS-NIR) spectrometer.....	89
Abstract	89
1. Introduction	90
2. Material and methods	91
3. Results and discussion	96
4. Conclusions	104
References	104
CAPÍTULO 4 – Postharvest behavior of mangoes nondestructively sorted for dry matter content during and after storage under controlled atmosphere	120
Abstract	120
1. Introduction	120
2. Material and methods	123
3 Results and discussion	127
4. Conclusions	132
References	133
CAPÍTULO 5 – Considerações finais	150

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

DAA - Dias após a antese

MS - Matéria-seca

SSC – Teor de sólidos solúveis

CA - Atmosfera controlada - controlled atmosphere

MSC - Correção multiplicativa de sinal - multiple scatter correction

NIR – Infravermelho próximo – near infrared

PCA – Análise por componentes principais - principal component analysis

PC- - Componentes principais - principal components

PLSR - Regressão por mínimos quadrados parciais - partial least squares regression

R²_c - Coeficiente de determinação do grupo de calibração

R²_{cv} - Coeficiente de determinação do grupo de validação cruzada

R²_p - Coeficiente de determinação do grupo de predição

RMSE_c – Erro quadrado médio de calibração - root mean square error of calibration

RMSE_{cv} – Erro quadrado médio de validação cruzada - root mean square error of cross validation

RMSE_p - Erro quadrado médio de predição - root mean square error of prediction

RPD – Relação do desempenho do desvio - residual prediction deviation

SNV - Variação normal padrão - standard normal variate

SVM - Máquina de vetores de suporte - support vector machine

VL - Variáveis latentes

OTIMIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTO SOB ATMOSFERA CONTROLADA DE MANGAS ‘PALMER’ DESTINADAS À EXPORTAÇÃO

RESUMO – O objetivo geral deste trabalho foi conservar a qualidade de mangas ‘Palmer’ exportadas para a Europa e por objetivos específicos: I. estabelecer o melhor estágio de maturação para o transporte marítimo refrigerado e sob condições de atmosfera controlada (CA) determinado usando técnicas não-destrutivas de espectroscopia de infravermelho próximo (NIRS); II. desenvolver modelos de calibração e predição de matéria-seca (MS) e sólidos solúveis (SSC); III. comparar se a abordagem proposta difere do manuseio tradicional de mangas em uma remessa de mangas por frete marítimo para a Europa. No trabalho sobre a determinação dos índices de maturidade de manga ‘Palmer’ utilizando espectrômetro portátil de infravermelho próximo (VIS-NIR) o melhor modelo de calibração para SSC foi obtido usando espectros pré-processados com variação normal padrão (SNV), primeira derivada de Savitzk-Golay e janela de 699-999 nm. Para os SSC, foi observado um $RMSE_{CV}$ de 1,39 % com um R^2_{CV} de 0,87 e RPD de 2,77. Melhores resultados foram observados para o modelo de calibração de MS construído com espectros em bruto usando a janela de 699-981 nm ($RMSE_{CV}$ de 8,81 g.kg⁻¹, R^2_{CV} de 0,84 e RPD de 2,51) e os modelos de calibração para firmeza foram considerados ruins. No estudo sobre armazenamento refrigerado de mangas ‘Palmer’ classificadas com base no teor de MS usando espectrômetro portátil de infravermelho próximo (VIS-NIR) foi possível concluir que o modelo PLS desenvolvido com as mangas da safra 2015/2016 não foi adequado para prever o teor de MS em frutos da safra 2016/2017 (R^2 não ajustado). Assim, os espectros VIS-NIR da safra 2016/2017 foram incorporados ao conjunto de dados e um novo modelo foi desenvolvido ($RMSE_{cv}$ de 10,5 g.kg⁻¹, R^2_P de 0,75). Com o novo modelo, as mangas ‘Palmer’ foram classificadas em dois estágios de maturação (150 g.kg⁻¹ e 110 g.kg⁻¹), o que resultou em diferenças de qualidade principalmente em relação à MS e SSC. No experimento sobre a resposta pós-colheita de mangas selecionadas de forma não-destrutiva quanto ao teor de MS durante e após o armazenamento sob atmosfera controlada (AC) foi observado que o modelo de regressão de mínimos quadrados parciais (PLSR) desenvolvido com frutos das

safras de 2015/2016 e 2016/2017 de Cândido Rodrigues - SP, foi capaz de prever adequadamente o teor de MS de mangas produzidas em Petrolina - PE, mas com erro médio quadrático de predição bastante alto ($RMSEP = 20,2 \text{ g.kg}^{-1}$) e baixo R^2_P (0,19). Os espectros Vis-NIR de mangas produzidas em Petrolina - PE foram incorporados ao conjunto de dados e um novo modelo foi desenvolvido ($RMSEv = 13,8 \text{ g.kg}^{-1}$ e $R^2_v = 0,63$). Com o novo modelo PLSR foi possível selecionar mangas produzidas em Petrolina - PE com 150 g.kg^{-1} de MS, confirmando a robustez do modelo. Não foram observadas diferenças significativas na qualidade entre os frutos classificados com base na MS (150 g.kg^{-1}) em relação às selecionadas usando a aparência visual (manuseio tradicional) durante o armazenamento sob AC (5 kPa O_2 e 5 kPa CO_2) por 30 dias a $14,2 \pm 2,3 \text{ }^\circ\text{C}$ e $92,6 \pm 2,8 \text{ \% UR}$. No entanto, as mangas classificadas com 150 g.kg^{-1} de MS apresentaram menor desvio padrão, indicando um lote de frutos mais homogêneo. De modo geral, foi possível conservar a qualidade de mangas 'Palmer' a serem exportadas para a Europa, principalmente por selecionar frutos no estágio de maturação mais apropriado (150 g.kg^{-1} MS), resultando em lotes de frutos mais homogêneos.

Palavras-chave: *Mangifera indica*, espectroscopia no infravermelho próximo (NIR), espectrômetros NIR portáteis, PLSR, quimiometria.

OPTIMIZATION OF CONTROLLED ATMOSPHERE STORAGE CONDITIONS TO EXPORT 'PALMER' MANGO

ABSTRACT – The main objective of this study was to preserve the quality of 'Palmer' mangoes exported for the supply chain in Europe, and the specific objectives were: I. establish the best maturity stage for sea freight transportation and under controlled atmosphere (CA) conditions, determined using non-destructive of techniques near infrared spectroscopy; II. develop calibration and prediction models for dry matter (DM) and soluble solids content (SSC), III. compare if the proposed approach differs from the traditional mango handling to sea freight to Europe. In the study about the determination of the 'Palmer' mangoes maturity stages using near portable infrared spectrometer (VIS-NIR), the best calibration model for SSC was obtained using NIR spectra pre-processed with standard normal variation (SNV), first derivative of Savitzk-Golay, and 699-999 nm window. For SSC, it was observed a RMSECV of 1.39 %, with a R^2_{cv} of 0.87, and a RPD of 2.77. Better results could be seen for the DM calibration model built with raw spectra using the 699-981 nm window (RMSECV of 8.81 g.kg⁻¹, R^2_{cv} of 0.84 and RPD of 2.51), and poor calibration models were obtained for firmness. In the study about refrigerated storage of 'Palmer' mangos sorted based on their DM content using near portable infrared spectrometer (VIS-NIR), it could be seen that the PLS model developed during 2015/2016 mango season was not appropriate to predict the DM content of fruit from 2016/2017 season (R^2 not adjusted). Therefore, the VIS-NIR spectra from 2016/2017 season were incorporated into the dataset and a new model was developed (RMSEcv of 10.5 g.kg⁻¹, R^2_P of 0.75). With the new model, 'Palmer' mangoes were sorted in two maturity stages (150 g.kg⁻¹ and 110 g.kg⁻¹), which resulted in quality differences, mainly in relation to DM and SSC. In the study about the postharvest responses of mangos non-destructively sorted based on DM content during and after the storage under controlled atmosphere (CA), it was observed that the partial least squares regression (PLSR) model developed with fruit from 2015/2016 and 2016/2017 from Candido Rodrigues - SP, was able to properly predict the DM content of mangoes produced in Petrolina - PE, but with a high root mean square

error of prediction ($RMSEP = 20.2 \text{ g kg}^{-1}$) and low R^2_P (0.19). Therefore the VIS-NIR spectra from mangoes produced in Petrolina – PE were incorporated into the dataset and a new model was developed ($RMSE_v$ of 13.8 g kg^{-1} and R^2_v of 0.63). With the new PLSR model, it was possible to sort mangoes produced in Petrolina – PE with 150 g.kg^{-1} DM, confirming the robustness of the model. It was not observed significant quality differences between fruit sorted based on DM (150 g.kg^{-1}) in relation to visual appearance sorted fruit (traditional handling) during CA storage (5 kPa O_2 and 5 kPa CO_2) for up to 30 days at $14.2 \pm 2.3 \text{ }^\circ\text{C}$ and $92.6 \pm 2.8 \text{ \% RH}$. However, the mangoes sorted with 150 g.kg^{-1} DM showed lower standard deviation, indicating a more homogeneous fruit batch. All in all, it was possible to preserve the quality of ‘Palmer’ mango to be exported to Europe, mainly by sorting the fruit in the appropriate maturity stage (150 g.kg^{-1} DM) with a more homogeneous fruit batch.

Keywords: *Mangifera indica*, Near Infrared Spectroscopy (NIR), NIR Portable Spectrometer, PLS, Chemometrics.

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

1. INTRODUÇÃO

A manga destaca-se como uma fruta de alto valor comercial em muitas regiões do mundo, principalmente, nas tropicais. Segundo dados da FAOSTAT (2016), os principais países produtores de manga são a Índia, a China, a Tailândia e o México. O Brasil ocupa a oitava colocação, com uma produção de 1.417.149 toneladas, em uma área cultivada de 78.961 hectares. Desta produção, o Brasil exporta pouco mais de 20 % sendo os 80 % restantes destinados à comercialização e consumo no mercado interno (LIRIO, 2004). Em relação ao volume de frutas exportadas, a manga ocupou a primeira posição, com uma receita de US\$ 140,9 milhões em 2011 (SOARES, 2012).

O Nordeste é a principal região produtora de mangas, sendo responsável por 67 % da produção nacional (654.493 toneladas). A região Sudeste é a segunda maior região produtora, com um total de 307.455 toneladas, e o estado de São Paulo é seu principal produtor, sendo o terceiro maior estado produtor de mangas do país, com uma produção de 184.042 toneladas em 10.202 hectares (IBGE, 2017).

Dentre as cultivares plantadas, a ‘Tommy Atkins’ representa cerca de 80 % da área cultivada no Brasil (LIRIO, 2004). Esta é uma cultivar de meia estação, sua produção está concentrada entre os meses de dezembro a janeiro, o que coincide com o pico de produção das variedades “nativas” e, conseqüentemente, com menores preços (AGRIANUAL, 2014). Procurando-se ampliar o período de oferta desta fruta, cultivares tardias como a ‘Palmer’ têm sido plantadas e atualmente a oferta de frutos de cultivares com produção nos meses de janeiro a fevereiro tem dado continuidade ao excesso de oferta enfrentado pelos produtores de mangas ‘Tommy Atkins’. Uma solução para esse problema seria focar no desenvolvimento de métodos de conservação visando o armazenamento dos frutos das cultivares mais tardias, como a ‘Palmer’, até os meses de março a abril, quando há diminuição de oferta e conseqüente aumento dos preços.

Para o estabelecimento de protocolos visando o armazenamento de frutos, um dos pontos fundamentais é a caracterização do ponto de colheita (MORAIS et al., 2003; SUBEDI et al., 2007). Este depende do padrão fisiológico dos frutos no momento da colheita e sua determinação é realizada por meio de métodos destrutivos e não destrutivos através de indicadores físicos, químicos, fisiológicos ou combinações entre eles (ALVES et al., 2002; ASSIS, 2007). Com estas determinações é possível monitorar o estágio ideal de maturação para colheita, sendo essencial a obtenção de frutas com ótima qualidade, pois é fundamental para a manutenção da qualidade pós-colheita e para a sua manutenção durante o armazenamento (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Segundo Abbott (1999), existem diversas técnicas analíticas não destrutivas disponíveis para a avaliação da qualidade de frutas. Dentre estas pode-se destacar a espectroscopia do infravermelho próximo (NIRS) como uma técnica analítica não destrutiva para a avaliação da qualidade de mangas, já que não sofre interferência da pigmentação da casca ou da presença do caroço dos frutos (SARANWONG et al., 2001; SUBEDI et al., 2007). Além disso, vários trabalhos foram realizados visando a determinação de parâmetros de qualidade em mangas, tais como: teor de sólidos solúveis (SSC), matéria-seca (MS), acidez titulável (AT), firmeza, teor de amido e outros compostos (GUTHRIE; WALSH, 1997; SCHMILOVITCH et al., 2000; SARANWONG et al., 2001; MAHAYOTHEE et al., 2004; SARANWONG et al., 2004; SUBEDI et al., 2007; DELWICHE et al., 2008; VALENTE et al., 2009; BETEMPS et al., 2011; SUBEDI; WALSH, 2011; JHA et al., 2012). Mais recentemente, espectrômetros NIR portáteis também têm sido utilizados visando a determinação de parâmetros de qualidade em mangas de diferentes cultivares (MARQUES et al., 2016; RUNGPICHAYAPICHET et al., 2016; WALSH; SUBEDI, 2016; NORDEY et al., 2017; SANTOS NETO et al., 2017) e esta técnica está se tornando importante para determinações da qualidade dos frutos no campo.

Mesmo com a escolha de pontos de colheita mais adequados, a conservação da manga pelo sistema de refrigeração convencional é feita em caráter um tanto precário, dada a sua sensibilidade a temperaturas abaixo de 13 °C (MILTRA; BALDWIN, 1997). A utilização de atmosferas de armazenamento com controle das concentrações de oxigênio (O₂) e dióxido de carbono (CO₂), em proporção ideal,

pode reduzir o metabolismo da manga, evitando-se seu amadurecimento (BLEINROTH, 1994). Desta forma, a utilização do armazenamento sob atmosfera controlada (AC), em combinação com a temperatura adequada para o armazenamento, tem se mostrado viável para prolongar a vida útil e manter a qualidade de vários frutos tropicais (DO; SALUNKHE, 1979; KADER, 2003a; KADER, 2003b). O armazenamento sob AC tem sido testado visando aumentar a vida pós-colheita dos frutos de uma série de cultivares de manga, como por exemplo, a 'Kensington Pride' (McLAUCHLAN; BARKER, 1992), a 'Kent' (TRINIDAD et al., 1997; BENDER; BRECHT, 2000), a 'Tommy Atkins' (LIZADA; OCHAGAVIA, 1997; BENDER; BRECHT, 2000) e a 'Haden' (BENDER; BRECHT; SARGENT, 2000).

Apesar de promissora, a resposta dos frutos de mangueira à AC apresenta grande variação, uma vez que algumas cultivares mostram somente um pequeno aumento na vida útil (O'HARE; PRASSAD, 1993) e em outras é possível aumentar a vida pós-colheita em até um mês (TRINIDAD et al., 1997). Embora seja possível encontrar estudos sobre o uso da AC durante o armazenamento da manga, não há recomendações completas para a cultivar Palmer, principal variedade tardia exportada para a Europa. Os resultados de Teixeira e Durigan (2011) demonstraram que a manga 'Palmer' pode ser armazenada em temperatura baixa (12,8°C e ~95 UR) com atmosferas contendo O₂ (1,0 % a 10 %) por até 28 dias. No entanto, não foi observado efeito do aumento dos teores de CO₂ até 25 % durante o armazenamento dos frutos desta cultivar (TEIXEIRA et al., 2018).

Desta forma, este trabalho teve por objetivo geral a otimização das condições de armazenamento sob AC de mangas 'Palmer' destinadas à exportação e, por objetivos específicos, I. estabelecer o melhor estágio de maturação por meio do uso de espectrômetro NIR portátil, II. comparar o manuseio pós-colheita tradicional adotado pelos produtores do estado de São Paulo com a metodologia proposta e, III. determinar as modificações durante o armazenamento refrigerado e sob condições de atmosfera controlada (CA).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A manga

Os frutos da mangueira (*Mangifera indica* L.) são chamados de manga, sendo esta uma fruta climatérica e, portanto, durante a fase de maturação apresenta elevação na taxa respiratória, o que resulta no aumento da velocidade das reações que levam ao seu amadurecimento e envelhecimento fisiológico, senescência. Assim, os frutos podem ser colhidos em um estágio de maturação pouco avançado, pois o processo de amadurecimento ocorre normalmente após a colheita (FACHINELLO; NACHTIGAL, 2009).

As cultivares Tommy Atkins e Palmer são monoembriônicas e originárias de programas de melhoramento desenvolvidos na Flórida (EUA), apresentam boa qualidade agrônômica e produção relativamente simples (NATIONAL MANGO BOARD, 2011). A ‘Palmer’ apresenta maior teor de sólidos solúveis (SSC) e menor quantidade de fibras em relação à ‘Tommy Atkins’, características que vão ao encontro do desejo do consumidor (CARVALHO et al., 2004). Os frutos da manga ‘Palmer’ apresentam tamanho médio, sendo ovalados e possuem casca com coloração variável do roxo ao vermelho, dependendo do grau de maturação. Sua polpa quando madura é amarelada de consistência firme e doce com cerca de 21 °Brix, acidez de 0,47 %, pH 3,85, com pouca ou nenhuma fibra (BLEINROTH et al., 1994; CAMARGO FILHO et al., 2004; CARVALHO et al., 2004).

No cenário atual, a mangicultura é uma atividade importante para o desenvolvimento nacional, no entanto, alguns problemas relacionados à cadeia produtiva de manga ainda devem ser solucionados. A desuniformidade no amadurecimento dos frutos de um mesmo lote é um dos principais problemas encontrados pela agroindústria de manga, resultando na comercialização de frutos com diferentes estádios de maturação e qualidade (SIGRIST, 2004). Este fato promove o aumento nos índices de perdas e reduz o consumo e comercialização de mangas, tanto no mercado interno como externo. A oferta de frutos heterogêneos no mercado é resultado da falta de precisão dos métodos utilizados para a

determinação do estágio de maturação e de qualidade dos frutos, normalmente baseados em avaliações visuais subjetivas (THANGARAJ; IRULAPPAN, 1989).

Para garantir que as mangas cheguem aos consumidores e indústrias processadoras com qualidade adequada é importante determinar o estágio de maturação ideal para a colheita, que dependerá do tempo necessário para que o fruto seja consumido ou industrializado (MARQUES et al., 2017). Para frutas transportadas e/ou armazenadas por longos períodos, é necessário realizar a colheita em estádios de maturação pouco avançados, mas que já tenham atingido sua maturidade fisiológica (SARANWONG et al., 2004; JHA et al., 2007; SANTOS et al., 2008; JHA et al., 2014). Para frutas transportadas e/ou armazenadas por curtos períodos, estas podem ser colhidas em estádios de maturação mais avançados o que garantirá uma melhor qualidade de consumo (JHA et al., 2007; SANTOS et al., 2008; JHA et al., 2014).

2.2 Ponto de colheita

Para a obtenção de frutos de boa qualidade, deve-se atentar para o ponto de colheita, que se refere à maturidade mínima para a realização da colheita com subsequente aceitação pelos consumidores. Durante o processo de maturação ocorre uma sequência de transformações bioquímicas, fisiológicas e estruturais, por meio das quais os frutos emergem do estágio de desenvolvimento incompleto para atingirem o crescimento pleno e a qualidade comestível máxima (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Os frutos da mangueira podem completar o amadurecimento comercial após a colheita, desde que sejam colhidos na fase de desenvolvimento fisiológico, porém quando isto não acontece, é interrompido o fluxo de seiva proveniente da planta e os frutos em estádios de maturação menos avançados podem não amadurecer, tornando-se impróprios para o consumo (BLEINROTH, 1994; SILVA, 2009). Estes também apresentam maior sensibilidade a baixas temperaturas de armazenamento e maior tendência à perda de água por transpiração. Adicionalmente, apresentam alterações que descaracterizam o fruto, seja na composição do flavor, na coloração da polpa que se torna esbranquiçada, na firmeza, no teor de açúcares e acidez

durante o período de amadurecimento. Em contrapartida, frutos colhidos em estádios de maturação mais avançados são mais sensíveis ao ataque de microrganismos e aos danos mecânicos durante a pós-colheita, pois chegam ao local de consumo já senescentes. Estas duas situações resultam em perdas pós-colheita e em prejuízos para produtores e exportadores (MANICA, 2001; LUCENA, 2006; SANTOS et al., 2008; PAULL; DUARTE, 2011).

Por estas razões, geralmente a manga é colhida antes do estágio totalmente maduro para evitar o início do climatério respiratório durante o transporte para mercados distantes (JHA et al., 2007). Todavia, a maturidade é o fator mais importante que determina a qualidade da fruta após a colheita (KADER, 1999).

Desta forma, considera-se como fatores importantes na determinação do ponto de colheita, o destino do fruto, o meio de transporte, o intervalo entre a colheita e o consumo e as características intrínsecas, já que o potencial de vida útil e de armazenamento dos frutos dependem do seu estágio de maturação no momento da colheita (MORAIS, 2001). Além disso, as perdas pós-colheita podem ser reduzidas, já que a vida útil dos frutos é dependente desse parâmetro (KIENZLE et al., 2012; JHA et al., 2014).

Neste contexto, vários métodos analíticos não destrutivos têm sido propostos para a determinação de parâmetros de qualidade de mangas de forma que possam ser utilizados na avaliação do estágio de maturação, na determinação do momento ideal de colheita, ou ainda, para a classificação pós-colheita dos frutos.

2.3 Indicadores de maturidade

Para a classificação do índice de maturidade empregam-se métodos destrutivos e não destrutivos, pois o ponto de colheita da manga pode ser determinado com base em indicadores físicos, químicos, fisiológicos, bioquímicos e cronológicos e deve ser estabelecido relação destes, conforme a variedade e o mercado a que se destinam, fazendo-se uma amostragem representativa da área a ser colhida e utilizando-se diferentes métodos de detecção para demonstrar a maturidade (KOSIVACHINDA et al., 1984; ALVES et al., 2002).

Diversos índices tais como o número de dias após a floração plena, gravidade específica, firmeza, cor da polpa, conteúdo de sólidos solúveis e outras características químicas têm sido sugeridos (ALVES et al., 2002). Com relação aos aspectos externos e de acordo com a cultivar podem também ser considerados como indicadores da maturidade da fruta as mudanças da coloração da casca, o fechamento das lenticelas, o ápice e “ombros” mais cheios e arredondados e a forma do bico em algumas cultivares (NICOLAÏ et al., 2007). Assim, o ponto de colheita dos frutos é um fator decisivo na qualidade final do produto. No entanto, a subjetividade dos critérios externos utilizados para a determinação de maturidade da manga não é eficiente. Diante disso, a busca por parâmetros mais confiáveis para se determinar a maturidade à colheita visa substituir os índices morfológicos externos e internos de forma não destrutiva (DICK et al., 2009).

Atualmente, diversas técnicas analíticas não destrutivas estão disponíveis para a avaliação da qualidade de frutas e de outros produtos agrícolas, tais como: ressonância magnética nuclear (NMR), tomografia utilizando raios-x, colorimetria, fluorescência, técnicas acústicas, narizes eletrônicos, espectroscopia na região do infravermelho próximo (NIRS), entre outras (JHA; MATSUOKA, 2000; WANG et al., 2015).

Dentre os métodos disponíveis, a NIRS tem se destacado como técnica analítica não destrutiva para a avaliação da qualidade de mangas, já que não sofre interferência da pigmentação da casca ou da presença de caroço nos frutos (SARANWONG et al., 2001; SUBEDI et al., 2007). A pigmentação da casca é considerada um parâmetro de pouca robustez para a determinação do estágio de maturação das mangas. Outra vantagem da NIRS é a capacidade de efetuar medidas extremamente rápidas, sem uso de reagentes químicos ou qualquer tipo de preparo de amostra, necessitando apenas do desenvolvimento prévio de modelos de calibração para cada material genético e condições de cultivo (SLAUGHTER, 1995; SUBEDI et al., 2007; MARQUES, 2017).

Alguns dos indicadores de maturidade mais utilizados para a determinação do ponto de colheita de mangas serão apresentados a seguir.

2.3.1 Formato e aparência externa do fruto

As mangas a medida que ficam mais maduras, acumulam mais reservas e desenvolvem o que vulgarmente é chamado de “ombros”, característica relacionada ao crescimento em torno do pedúnculo da fruta (BRECHT et al., 2010). Esse método pode ser empregado por ocasião da colheita e tem funcionado adequadamente para a maioria das variedades (MEDLICOTT et al., 1986). Além disso, cultivares como a Keitt, Kent, Haden, Palmer e Tommy Atkins apresentam mudanças de formato, passando de achatadas para arredondadas, desenvolvendo o que se chama de “bochechas”. Bochechas cheias ou ombros crescidos, bem como a forma da fruta, são considerados índices confiáveis de maturidade para a colheita em muitas cultivares (BRECHT et al., 2010).

As alterações na cor externa nem sempre estão associadas à maturação e a qualidade interna da fruta. A proporção de áreas avermelhadas em cultivares como a Tommy Atkins é fortemente afetada pela posição da fruta na árvore e pela luz do sol recebida durante o crescimento e o desenvolvimento da fruta, e não pelo desenvolvimento fisiológico *per se*. As áreas avermelhadas na casca da fruta não devem ser usadas como único indicador de maturação para a colheita, em cultivares que têm a característica de exibir áreas avermelhadas (BRECHT et al., 2010), como por exemplo, a cultivar Palmer que apresenta variações de cores geralmente entre o roxo, vermelho, amarelo ou uma mistura das três (SERPA, 2014).

Lenticelas são aberturas naturais presentes na casca da manga e sua principal função é facilitar a troca de gases. Nas mangas ‘Kent’, as lenticelas ficam mais proeminentes à medida que a fruta amadurece. O tamanho ou a proeminência das lenticelas é um indicador de ponto de colheita frequentemente usado na América do Sul. A expansão das lenticelas não parece ser tão evidente em outras cultivares; no entanto, as mangas ‘Haden’ são consideradas totalmente maduras quando as áreas avermelhadas começam a ficar mais claras e as lenticelas verdes se tornam amarelas. À medida que as mangas se aproximam do ponto de colheita, fica evidente uma clara mudança no brilho, provavelmente devida a mudanças na composição de ceras na casca. O resultado é que as mangas, especialmente as ‘Tommy Atkins’, desenvolvem tonalidades verdes esbranquiçadas na casca,

facilmente reconhecíveis pelos colhedores como um sinal de maturação (BRECHT et al., 2010).

Entretanto, todos esses indicadores são passíveis de erro devido a subjetividade e não têm sido utilizados com sucesso em algumas cultivares (SUBEDI et al., 2007), como por exemplo, a Palmer.

2.3.1 Floração

O período que vai da floração plena à maturidade do fruto depende da cultivar e das condições climáticas da região de cultivo, sendo usado mais comumente para estimativas das datas de colheita (KIENZLE et al., 2011).

Os frutos de mangueira geralmente são colhidos quando sua coloração começa a mudar ou os primeiros frutos maduros caem, o que ocorre entre 90 e 120 dias após a antese (DAA), dependendo da cultivar e da região de cultivo (CUNHA et al., 2002). Medlicott et al. (1988) relataram que frutos de mangueiras atingem seu completo desenvolvimento em períodos diferentes, o que dificulta a determinação de seu ponto ideal de colheita por este método. Desta forma, a colheita de mangas utilizando DAA pode interferir diretamente na cadeia de abastecimento, seja para o consumo *in natura* ou processamento, por resultar em desuniformidade no estabelecimento do amadurecimento dos frutos em um mesmo lote (SIGRIST, 2004).

2.3.2 Gravidade específica

A gravidade específica do fruto é considerada um índice de maturidade não destrutivo. A gravidade específica de um determinado produto pode ser estabelecida através da *'razão entre a densidade de uma substância e a densidade de alguma substância padrão, neste caso a água a uma temperatura específica'*. O produto mais denso afunda ou o mais leve flutua na superfície do líquido. A gravidade específica de um produto é uma medida adimensional, uma vez que é uma proporção de duas medidas com mesma unidade (ÇENGEL; CIMBALA, 2015).

A gravidade específica adequada para colheita, decresce gradualmente com o avanço da maturação, o que indica uma leve redução na matéria sólida do produto. Nos estados iniciais de desenvolvimento, os frutos apresentam maior gravidade específica e os que se aproximam da maturidade, apresentam valor inferior ou próximo ao da unidade. Quando acontece algum tipo de dano seja por insetos, pelo frio (*chilling*) ou por doenças, os frutos verdes apresentam menor gravidade específica do que os sadios (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

A relação entre a gravidade específica e a maturação de mangas 'Kesar' maduras foi observada por Kapse e Katrodia (1997), os frutos com gravidade específica $< 1,00 \text{ g.cm}^{-3}$ não amadureceram normalmente até os 11 dias de armazenamento. Já os frutos com gravidade específica entre 1,00 e $1,02 \text{ g.cm}^{-3}$ apresentaram ótimo estágio de maturação para a colheita, pois mostravam melhor qualidade de amadurecimento, para o transporte e armazenamento. Porém, Tandon, Kalra e Singh (1988) utilizaram a gravidade específica para a classificação de mangas 'Dashehari' em três graus de gravidade específica e concluíram que as mangas com gravidade específica $> 1,00 \text{ g.cm}^{-3}$ amadureceram com melhor qualidade durante 11 dias de armazenamento. Por outro lado, Lizada (1991) afirmou que os frutos exibem maior perda de água quando a gravidade específica se apresenta diminuída. Vale salientar que os valores superiores a $1,00 \text{ g.cm}^{-3}$ encontrados em mangas 'Dashehari' (TANDON; KALRA; SINGH, 1988) estão correlacionados com os processos de maturação, quando apresenta menor teor de amido, elevado teor de SST e menor vida de prateleira.

No Brasil, Morais et al. (2004) e Filgueiras et al. (2002) estudando mangas 'Tommy Atkins', relataram que a gravidade específica ficou dentro da faixa de 1,0 a $1,02 \text{ g.cm}^{-3}$ considerando-as de boa qualidade e como ponto ideal de colheita. Contudo, não foram encontrados valores para a cultivar Palmer na literatura.

2.3.3 Cor da casca e da polpa

A cor é o atributo de qualidade mais atrativo para o consumidor, sendo esta gerada pelas percepções do órgão visual para a radiação eletromagnética visível de comprimento de onda entre $\sim 380\text{-}400$ a $740\text{-}750 \text{ nm}$. A luz refletida, transmitida ou

emitida a partir de um objeto ao acessar o sistema visual causa a percepção da cor. Além disso, a luz que ilumina o objetivo pode ser interpretada como certa cor, dependendo da sua distribuição de energia espectral e tem como atributos principais o matiz, a luminosidade e a saturação (CAMARGOS; GONÇALEZ, 2001; FERREIRA; SPRICIGO, 2017).

A percepção da cor no humano resulta da relação que envolve o estímulo físico, os receptores dos olhos que notam o estímulo, o sistema neural e o cérebro os quais são responsáveis pela comunicação e interpretação dos sinais detectados pelos olhos. Este processo envolve vários fenômenos: físico, neural e os cognitivos, que devem ser entendidos de modo a compreender a visão de cores completamente (SHARMA; BALA, 2014), ademais a percepção humana sobre as cores as tornam de caráter altamente subjetivo e pessoal, fazendo com que a sensação da cor seja única após complexas operações dos fenômenos (CAMARGOS; GONÇALEZ, 2001; FERREIRA; SPRICIGO, 2017).

As mudanças na coloração da casca e da polpa dos frutos são elementos importantes para o reconhecimento do ponto de colheita. Os principais pigmentos responsáveis pela coloração da manga são a clorofila, carotenos, xantofilas e antocianinas, que são sintetizadas pela via dos fenilpropanóides. Em manga, as alterações que ocorrem na cor da casca são indicativos do início da maturação, exibindo uma ampla variação de mistura de cores, ou seja, do verde para o amarelo e do vermelho para o violeta (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Esta variação de cores, seja na casca ou polpa, advém da degradação da clorofila e do acúmulo de antocianinas e carotenoides (MEDLICOTT et al., 1986; BRECHT et al., 2010). No entanto, quando os frutos apresentam algum tipo de dano que cause mudança dessas cores, pode ocorrer resistência a compra dos frutos (TITOVA; NACHEV; DAMYANOV, 2015).

A cor da polpa evolui de uma tonalidade branco esverdeada para amarela ou laranja durante a maturação em todas as cultivares (BRECHT et al., 2010).

A determinação da coloração dos frutos poder ser atribuída subjetivamente ou por colorimetria, que é a parte da ciência das cores com o propósito de especificar numericamente a cor de um determinado estímulo visual (WYSZECKI, 1982 apud PEREZ, 2001). Trata-se da tentativa de representar a interação da luz

com os materiais percebida pelo olho e interpretada pelo cérebro (FERREIRA; SPRICIGO, 2017).

Devido ao entendimento limitado do sistema visual humano, vários modelos de cores têm sido propostos para modelar as características de uma cor (PEREZ, 2001). Os espaços de cores comuns utilizados são definidos pela *Commission International de l'Eclairage* ou Comissão Internacional de Iluminação (CIE) em CIE XYZ; CIE $L^* a^* b^*$; CIE LCH, Hunter L a b e RGB (Red, Green and Blue – Vermelho, Verde e Azul), entre outros (ABBOTT, 1999; PATHARE; OPARA; AL-SAID, 2013). A diferença entre esses sistemas está relacionada à simetria da distribuição da cor e ao sistema de coordenadas utilizado para definir os pontos dentro desta distribuição (FERREIRA; SPRICIGO, 2017).

O $L^*C^*h^\circ$ é um espaço de coordenadas representado pela luminosidade (L^*), no espaço $L^*a^*b^*$, cromaticidade (C^*) e ângulo hue (h°). A luminosidade é a escala que varia do preto (0) ao branco (100). As coordenadas polares C^* definidas como sendo a saturação, e h° , que é o ângulo tomado no espaço $L^*C^*h^\circ$. A saturação, C^* , é definida como a distância radial do centro do espaço até o ponto da cor. No centro do espaço $L^*C^*h^\circ$, estão os valores mínimos de saturação e, à medida que se caminha para as extremidades, aumenta-se este valor (PATHARE; OPARA; AL-SAID, 2013; FERREIRA; SPRICIGO, 2017).

A saturação está ligada diretamente à concentração do elemento corante e representa um tributo quantitativo para intensidade. Quanto maior o C^* maior a saturação das cores perceptíveis aos olhos humanos. Cores neutras possuem baixa saturação, enquanto cores puras possuem alta saturação e são, portanto, mais brilhantes na percepção humana (SHEWFELT; THAI; DAVIS, 1988; PATHARE; OPARA; AL-SAID, 2013; FERREIRA; SPRICIGO, 2017). O C^* representa a hipotenusa de um triângulo retângulo criado pela união dos pontos (0, 0), (a^* , b^*), e (a^* , 0) e é calculado como $(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ (McGUIRE, 1992). Ângulo Hue (h°) é considerado o atributo qualitativo de cor com as cores definidas tradicionalmente como avermelhadas, esverdeadas, entre outras. (PATHARE; OPARA; AL-SAID, 2013). Graficamente consideramos o ângulo de 0° como a cor vermelha, o ângulo de 90° , amarelo, o ângulo de 180° , verde, e o ângulo de 270° , azul (SHEWFELT et

al. 1988; McGUIRE, 1992). Por meio do ângulo é possível comparar amostras, calculado como $\tan^{-1} b^*/a^*$.

Os parâmetros de coloração de mangas ‘Palmer’ no estágio de maturação “de vez”, determinados a partir da coloração da polpa, foram avaliados por Hojo et al. (2005). A epiderme apresentou na porção verde valores de L^* 37,64, a^* 8,08 e b^* 14,58, enquanto que na porção vermelha os valores foram de L^* 26,82, a^* 12,99 e b^* 3,89. Para a polpa foram identificados valores de L^* 57,73, a^* 5,45 e b^* 39,18. Em mangas produzidas em sistema orgânico, Galli et al. (2011) relataram que mangas ‘Palmer’ no estágio de maturação fisiológica “de vez” apresentam cor da polpa amarela com um valor de $^{\circ}h$ de 97,93. Por outro lado, estes autores sugeriram que a cor da casca e o formato do fruto não foram bons indicativos do ponto de colheita para 17 cultivares estudadas, dentre elas a ‘Palmer’.

Contudo, a modelagem de valores de cor para avaliação não destrutiva da maturação de manga ‘Dashehari’ foi proposta por Jha et al. (2007) utilizando um colorímetro HunterLab aliado a diferentes combinações de valores de cor L , a e b ajustados por seis modelos matemáticos analisados através de técnicas de regressão linear múltipla (MLR), regressão por mínimos quadrados parciais (PLS), regressão por componentes principais (PCR). Através desses, o melhor modelo matemático para o índice de maturidade (I_m) foi utilizando as variáveis a , b e $a \times b$ ($I_m = C_1 + C_2 a + C_3 b + C_4 a \times b$), apresentando os seguintes valores para erro padrão de calibração (SEC) de 13,15; 13,47; 13,47 % e para erro padrão de predição (SEP) 10,72; 11,72; 11,73 % para MLR, PLS e PCR, respectivamente. A precisão da predição do modelo das variáveis de a , b e $(a \times b)$ foi verificada também pela avaliação sensorial de 55 mangas ‘Dashehari’ maduras e foi constatado que os frutos preditos como maduros, estavam nas categorias “gostei muito” ou “gostei” avaliada pelos provadores, enquanto os que foram preditos como imaturos ou mais maduros foram em sua maioria rejeitados pelos provadores.

Os índices de amarelecimento e firmeza de mangas ‘Dashehari’ proposto por Jha et al. (2006) de forma não destrutiva utilizando um colorímetro HunterLab demonstraram o potencial para se conhecer a maturidade e o estágio de maturação durante o crescimento e o armazenamento dessa cultivar de manga. No entanto,

para a 'Palmer', a pigmentação da casca é considerada um parâmetro de pouca robustez para a determinação do estágio de maturação dessa cultivar.

2.2.4 Firmeza

O termo firmeza é um importante atributo de qualidade que as vezes é confundido com textura. A firmeza dos frutos se refere ao grau de dureza, força ou resistência necessária para que o fruto atinja uma dada deformação, enquanto a textura é mais complexa e de mais difícil determinação, visto que representa a sensação produzida pelos órgãos dos sentidos, visão, audição, tato, olfato e paladar, os quais são responsáveis pela identificação do alimento, cujas sensações evocam pela dureza, maciez, fibrosidade, suculência, granulosidade, resistência e elasticidade (KLUGE et al., 2002; CHITARRA; CHITARRA, 2005).

A determinação da firmeza da manga pode ser realizada por métodos destrutivos e não destrutivos. O método mais comum para medir a firmeza baseia-se na força de penetração da polpa nos dois lados do fruto, após a remoção da casca, usando-se um penetrômetro com uma ponteira de 8 mm (5/16 polegadas) (BRECHT et al., 2010). A firmeza dos frutos pode ser analisada usando várias técnicas não destrutivas (BUTZ et al., 2005; GARCIA-RAMOS et al., 2005), como as mecânicas (JAREN; GARCIA-PARDO, 2002; SHMULEVICH et al., 2003; DE KETELAERE et al., 2006), acústicas (DE BAERDEMAEKER, 1988; ABBOTT; MASSIE, 1998) e métodos de ultrassom (MIZRACH, 2000).

A firmeza da manga diminui com o amadurecimento na planta e continua decrescendo durante o manuseio na colheita e na pós-colheita, e também quando armazenada. Porém, não deve ser usada como o único índice para a colheita, mas pode ser usada como um dos índices do estágio de amadurecimento (BRECHT et al., 2010).

A redução da firmeza dos frutos é proveniente das atividades enzimáticas que produzem modificações na composição da parede celular, incluindo a degradação das protopectinas da lamela média, dos polissacarídeos da parede celular primária e a solubilização de conteúdos celulares (BRINSON et al., 1988;

MITCHAM; McDONALD, 1992; ANDREWS; LI, 1994) ou ainda a excessiva perda de água com a redução da pressão de turgescência das células (AWAD, 1993).

As enzimas que degradam a parede celular, incluindo aquelas que catalisam a quebra hidrolítica do ácido poligalacturônico (endo ou exo-poligalacturonase) e polímeros de galactose (α ou β -galactosidase), são denominadas de enzimas pectinolíticas. Outra enzima importante nesse processo é a pectinametilesterase (PME) que remove os grupamentos metila dos resíduos dos ácidos poligalacturônicos esterificados. Atuam ainda degradando a parede celular, enzimas que agem nas hemiceluloses, como as xiloglucanases e xilogucano endotransglicosilases, e aquelas que atuam nos polímeros de celulose, conhecidas como celulasas (HAGERMAN; AUSTINN, 1986; KETSA; DAENGKANIT, 1999; MANRIQUE; LAJOLO, 2004).

Mitcham e McDonald (1992), relataram que em mangas 'Keitt' e 'Tommy Atkins' a perda da consistência da polpa é o resultado da solubilização da pectina pela ação da poligalacturonase (PG), da pectinametilesterase (PME) e da celulase. Nos frutos imaturos, o material péctico se encontra principalmente na forma de protopectina, insolúvel em água e dá grande resistência ao tecido. Quando o fruto vai amadurecendo, o comprimento da cadeia polimérica diminui formando pectinas solúveis em água e pouco resistentes, quando comparadas com a protopectina, provocando, assim, diminuição na rigidez do fruto (ADAMS, 1991; MIRANDA; GONZALEZ, 1993; CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Quando os frutos colhidos são destinados a mercados mais distantes, a colheita deve ser realizada quando estes ainda estão firmes. Dependendo da cultivar, a firmeza que caracteriza o ponto de colheita ideal pode ser bastante diferente. Assim, considera-se que a cultivar Tommy Atkins destinada à exportação pode ser colhida quando apresentar firmeza em torno de 13,2 kgf (quilograma-força). Por outro lado, estes valores são de 12,2; 12,4 e 11,0 kgf para as cultivares Haden, Kent e Keitt, respectivamente (LIMA, 2018).

Brecht et al. (2010) sugerem que a firmeza mínima da polpa para mangas exportadas da América do Sul deve estar entre 6,8 e 9,1 kgf no momento de recepção nas empacotadoras (Tabela 1). Um menor valor de firmeza poderá ser aceito se coincidir com as medidas adequadas de SST e de cor da polpa. Mangas

transportadas de locais menos distantes que a América do Sul, como México e América Central, podem ter menor firmeza inicial (de 4,6 a 6,8 kgf), mas a cor da polpa é um melhor indicador do correto ponto de colheita. Para mangas colhidas no início da estação, o conceito de firmeza máxima pode ser um indicador útil para identificar mangas imaturas. Entre as mangas com polpa muito firme (10 kgf e acima), provavelmente haverá maior incidência de frutas imaturas e de danos causados pelo tratamento térmico.

Tabela 1. Classificação dos estádios de maturação de manga de acordo com a firmeza da polpa.

Estádio de maturação	Firmeza da polpa – kgf*	Recomendação
Matura verde	> 6,3	Trate com etileno durante 48 horas
Parcialmente madura	4,6 – 6,3	Trate com etileno durante 24 horas
Madura firme	2,8 – 4,6	Melhor estágio para mandar para varejistas
Madura macia	0,9 – 2,8	Melhor estágio para consumo
Excessivamente madura	< 0,9	Boa para suco

Fonte: Brecht et al. (2010), *kgf = quilograma – força.

Serpa et al. (2014) relataram que a firmeza de mangas ‘Palmer’ maduras com coloração da casca vermelha arroxeadada e polpa correspondente ao grau 2 – 3, foi de 19,2 kgf. Silva et al. (2012), observaram para a mesma cultivar, porém com frutos maduros colhidos em São Manuel – SP, valores de 10,6 kgf. Em sistema orgânico, Galli et al. (2011) relataram que a firmeza da manga ‘Palmer’ “de vez” foi de 14,9 kgf. No entanto, Modesto et al. (2016) demonstraram que a firmeza de mangas ‘Palmer’ colhidas com 60 % da casca apresentando coloração avermelhada-arroxeadada variou de $49,7 \pm 6,7$ kgf, o que foi atribuído a maturação do fruto por causa das diferenças dos estádios de colheitas.

A firmeza pode ser avaliada por métodos não destrutivos, bem como empregada para determinar a firmeza de manga (SLAUGHTER, 2009).

2.2.3 Matéria-seca (MS)

A manga é uma fruta que contém mais de 80 % de água e seu tamanho depende do acúmulo de água e matéria-seca (MS) nas diferentes estruturas, seja no endocarpo, mesocarpo ou epicarpo e este acúmulo de MS sofre influências das condições edafoclimáticas (LAKSHIMNARAYANA et al., 1970; LÉCHAUDEL et al., 2002). Assim, as frutas apresentam variação nos teores de MS entre pomares, entre árvores e dentro de uma árvore, que dependendo do estágio de desenvolvimento e das condições fotossintéticas (WALSH, 2016).

Em relação ao metabolismo amido-sacarose, nas cultivares de manga 'Tommy Atkins', 'Van Dyke', 'Haden', 'Palmer' não foi observado um padrão específico como o observado em bananas (MOTA; LAJOLO; CORDENUNSI, 1997). Em mangas ocorre a síntese de amido em quantidades significativas durante a fase de formação do fruto, o que justifica toda a sacarose acumulada no fruto maduro, apesar de existir um espaço de tempo muito grande entre a degradação do amido e a síntese de sacarose. Possivelmente, a produção de açúcares solúveis responsáveis pelo sabor adocicado da manga começa com a fruta ainda ligada a árvore e continua após a colheita (BERNARDES-SILVA et al., 2003), relacionando-se com a quantidade de carboidratos fornecida aos frutos na planta em função da fotossíntese, o que está relacionada à área foliar e à capacidade e atividade fotossintética (LE ROUX et al., 2001).

O teor de MS de um fruto é a soma dos teores de amido, açúcares e de outros componentes celulares relativamente constantes, tais como as paredes e fibras celulares. Assim, o conteúdo de MS é uma estimativa do teor de amido e açúcares. A medida que a fruta amadurece, todo o amido se converte em açúcares e assim, a MS na colheita é um índice de açúcares (°Brix) de frutos totalmente amadurecidos (WALSH, 2016). Desta forma, a manga madura significa que atingiu a capacidade fisiológica de aumentar em tamanho e de acumular MS (LÉCHAUDEL et al., 2002).

A MS da manga refere-se aos sólidos totais (ST) e na sua constituição apresentam-se majoritariamente os carboidratos, sejam solúveis ou insolúveis, dos quais 60 % são açúcares e amido, que contribuem para a composição do flavor das frutas (FISHMAN; GÉNARD 1998; UEDA et al., 2000). Os principais carboidratos presentes em manga 'Palmer' madura são: amido (1,58 %), glicose (0,59 %), frutose (2,79 %), frutose/glicose (4,70 %), sacarose (6,41 %), açúcares totais (9,79 %) (BERNARDES-SILVA et al., 2003). Estes são os principais compostos que contribuem para a composição da doçura nos frutos (MALUNDO et al., 2001).

O teor de MS é determinado pela fração em massa do fruto quando removida a sua umidade natural normalmente após a secagem do fruto através da perda de massa após 48 horas de secagem em estufa com circulação de ar forçada a 65 °C. Esse teor é expressado em porcentagem (%) (SUBEDI et al., 2007). É importante atentar que o teor de MS deve ser medido sem a casca, pois esse tecido possui um teor mais alto de MS do que o da polpa e pode conduzir à superestimativa de resultados (BRECHT et al., 2010). A MS também pode ser medida de forma não destrutiva usando a NIRS (SARANWONG et al., 2004; SUBEDI et al., 2007).

Vários pesquisadores consideram o teor de MS como o melhor indicador do ponto de maturação para a colheita de mangas em relação ao teor de SSC, pois a MS está diretamente relacionada com o teor de SSC e com a qualidade da manga madura para consumo (SARANWONG et al., 2004; SUBEDI et al., 2007; PADDA et al., 2011, WALSH, 2016). Além disso, a NIRS não é recomendada para avaliar os SSC durante o estágio de maturação da manga (SUBEDI; WALSH, 2011). O teor de MS representa também o conteúdo total de carboidratos, incluindo o amido total e os SSC da fruta na colheita, e está relacionado a maturidade hortícola, representando assim a qualidade alimentar (WHILEY et al., 2006; ANDERSON; SUBEDI; WALSH, 2017).

Na Austrália, o teor de MS da polpa é considerado o melhor indicador do ponto de maturação para a colheita de mangas em detrimento da cor da polpa e da medida inicial de SSC (BRECHT et al., 2010). As recomendações da Associação Australiana da Indústria de Mangas (AAIM) definiram níveis mínimos de MS por cultivar, e os principais varejistas estão adotando essas especificações. Walsh (2016) definiu o valor de 15 % de MS como o ideal para a colheita de mangas das

cultivares Kensington Pride, Calypso e Honey Gold, e de 13 % de MS para a R2E2. Similarmente, Gonzales-Moscoso (2014) apresentou os índices mínimos de qualidade de amadurecimento de mangas importadas para os Estados Unidos da América (EUA) classificados de acordo com o teor de MS, sugerindo para as cultivares Ataulfo e Francis 14,5 % de MS, para a Haden e Kent 12 % de MS e para a Tommy Atkins 13 % de MS.

Nassur et al. (2013), observaram que o incremento no teor de MS aumentou o grau de preferência e a porcentagem de aceitação do consumidor para as mangas 'Ataulfo' e 'Tommy Atkins' cultivadas no Brasil. Além disso, a observação de que mangas brasileiras apresentam menores teores de MS é, possivelmente, o resultado da colheita antecipada realizada para estender a vida pós-colheita, uma providência necessária para o transporte e comercialização. Estes notaram também que em mangas 'Ataulfo' produzidas no México e no Brasil com teores de MS superiores a 16,9 e 16,5 %, respectivamente, não foram observadas diferenças no grau de aceitação, indicando que maiores teores de MS não influenciam a percepção do consumidor para esta cultivar.

2.3.4 Sólidos solúveis (SSC)

Os sólidos solúveis são compostos solúveis em água que podem ser analisados de forma destrutiva e não destrutiva, sendo constituídos por compostos orgânicos presentes no citoplasma das células vegetais presentes nas frutas, sendo representados por açúcares, principalmente a glicose, a frutose e a sacarose, ácidos orgânicos e outros componentes em menores proporções, que apresentam relação direta com o grau de doçura das frutas. O teor de SSC é dependente do estágio de maturação no qual o fruto foi colhido e, geralmente, aumenta durante o amadurecimento pela biossíntese ou degradação de polissacarídeos (KLUGE et al., 2002; CHITARRA; CHITARRA, 2005).

O teor de SSC pode ser determinado em uma pequena amostra do suco da fruta usando-se um refratômetro que mede o índice de refração, indicando quanto um raio de luz diminui sua velocidade quando passa através do suco da fruta. O refratômetro tem uma escala para índice de refração e outra para o °Brix

equivalente ou percentagem de SSC, que podem ser lidas diretamente. O amido suspenso no suco de mangas imaturas ou verdes pode interferir na medida de SSC e resultar em leituras erroneamente altas (BRECHT et al., 2010).

Durante o amadurecimento da manga, a degradação de amido ocorre devido à ação, principalmente, das enzimas α -amilase e β -amilase (MORAES et al., 2002; SILVA, 2004; PERONI et al., 2008). Quando o fruto permanece na planta ocorre o acúmulo de amido presente na polpa de maneira intensa e o teor de amido pode atingir 13 % ao final do período de pleno desenvolvimento, porém, após a colheita dos frutos, o amido é completamente hidrolisado em cerca de oito dias, convertendo-se em açúcares, sendo a sacarose o açúcar de maior contribuição no teor de SSC (BERNARDES-SILVA et al., 2003; SILVA et al., 2008).

No início do amadurecimento, as transformações nos teores de SSC acontecem de forma mais intensa e a maioria são açúcares redutores, mas quando os frutos completam a maturidade contêm mais açúcares não redutores (sacarose) (TANDON; KALRA, 1983; MANICA, 2001). Quando a evolução no teor de SSC é retardada, há um retardo no amadurecimento. Isso provavelmente deve-se a uma redução na atividade metabólica (SILVA et al., 2001). As práticas e condições de campo influenciam os conteúdos de SSC em mangas e a determinação do ponto de colheita é altamente influenciada pelo cronograma de irrigação e pelas chuvas, pois esses fatores causam a diluição do suco celular diminuindo o teor de SSC (BRECHT et al., 2010).

A preferência do consumidor na compra de manga é impulsionada principalmente pela doçura (JHA; CHOPRA; KINGSLY, 2005). Assim, sua maturidade é determinante para a aceitação do consumidor, uma vez que os frutos menos maduros possuem baixo teor de SSC, o que afeta a qualidade dos mesmos, especialmente a composição do flavor (JHA et al., 2007). No mercado dos EUA observou-se que as mangas 'Tommy Atkins' com mais SSC (> 13,5 %) atingiram 80 % de aceitação. Por outro lado, mangas com SSC variando de 9,5 a 12,6 % a aceitação foi inferior a 80 % (MAKANI, 2013).

Em relação a este parâmetro, Gorgatti Netto et. al. (1994) relataram que mangas 'Palmer' "de vez" com um teor de 7 a 8 °Brix amadureciam normalmente. Corroborando com Hojo et al. (2009), com a mesma cultivar no estágio "de vez"

cultivada na Bahia, cujos teores de SSC foram de 6,2 °Brix. Galli et al. (2011), relataram teores de 7,33 °Brix em mangas 'Palmer' "de vez" oriundas de sistema orgânico.

As recomendações técnicas para teor de SSC de mangas quando o consumo do fruto ocorrer em intervalo de tempo reduzido é de aproximadamente 10 °Brix. Mas, quando o objetivo é o armazenamento para posterior comercialização para mercados distantes, a manga deve ser colhida com teor de SSC em torno de 7 °Brix (LIMA, 2018). Manica (2001) reportou que a cultivar Palmer quando madura pode apresentar teor de SSC de 13,5 a 17,49 °Brix, porém Costa e Santos (2004) sugerem que uma boa polpa de manga 'Palmer' madura deve conter 21,6 °Brix. Estes trabalhos indicam que o conteúdo de SSC em mangas variam em função das condições edafoclimáticas, estágio de maturação e temperatura de armazenamento (VASQUEZ-SALINAS; LAKSHMINARAYANA, 1985; CARDELLO; CARDELLO, 1998).

A aplicação de métodos não destrutivos para a determinação de SSC em manga foi estudado por Jha, Chopra e Kingsly (2005) utilizando a espectroscopia visível (440-480 nm). Estes obtiveram um modelo por regressão linear múltipla com erro padrão da calibração (SEC) de 1.91 °Brix e erro padrão de validação (SEP) de 1.90 °Brix, com coeficientes de correlação (R^2) de 0,90. Estes resultados indicam o potencial da espectroscopia de infravermelho próximo para predizer o teor de SSC em mangas 'Dashehari'.

Jha et al. (2012) também estudaram a predição não destrutiva de SSC em manga intacta usando espectrofotômetro portátil NIR (Luminar 5030, Brimrose Corp. Maryland, EUA) em sete cultivares de manga, Chausa, Langra, Dashehari, Kesar, Maldah, Mallika e Neelam, e obtiveram o melhor modelo PLS utilizando a segunda derivada $R_c = 0,782$ e $R_{cv} = 0,762$, sendo os SSC previstos com boa precisão.

Os dados encontrados por pesquisadores utilizando espectrofotômetro portátil NIR (MARQUES et al., 2016; RUNGPICHAYAPICHET et al., 2016; WALSH; SUBEDI, 2016; NORDEY et al., 2017; SANTOS NETO et al., 2017) podem ser compilados e utilizados para projetar instrumentos portáteis para classificação com base no SSC, para previsão precisa da qualidade pela maturidade hortícola da

manga, porém não é recomendado para avaliar a maturação da manga (SUBEDI; WALSH, 2011), para este o ideal é a matéria-seca.

2.3.5 Acidez titulável (AT) e pH

Estes dois parâmetros de qualidade são geralmente determinados por métodos destrutivos, mas também têm sido determinados de forma não destrutiva. Frequentemente a acidez de frutas é obtida como a acidez titulável (AT) e o potencial hidrogeniônico (pH), sendo que a AT representa todos os grupos de ácidos encontrados (ácidos orgânicos livres, na forma de sais e compostos fenólicos), enquanto que o pH está relacionado com a concentração hidrogeniônica da solução (KRAMER, 1973)

A AT de uma fruta está relacionada aos diferentes ácidos orgânicos presentes no tecido vegetal que servem de substratos no ciclo de Krebs, sendo utilizados durante o processo respiratório ou para sua conversão em açúcares. Os ácidos orgânicos encontram-se dissolvidos nos vacúolos das células, tanto na forma livre, como combinada com sais, ésteres ou glicosídeos (BRODY, 1996; CHITARRA; CHITARRA, 2005). O método mais comumente utilizado para determinação de AT baseia-se na titulação com hidróxido de sódio até o ponto de viragem com o indicador fenolftaleína (AOAC, 1995). Em geral, o sabor ácido está associado ao íon hidrogênio e ao seu grau de dissociação. Os ácidos mais abundantes nas frutas são o cítrico, málico, tartárico, oxálico e succínio. Em cada espécie de fruta, há a predominância de um desses ácidos (MEDLICOTT et al., 1986; BLEINROTH et al., 1992; KLUGE et al., 2002). Em manga, a acidez deve-se, principalmente, à presença dos ácidos cítrico e málico, que ocorrem em maior quantidade que os demais ácidos orgânicos. A AT da manga, normalmente, varia de 0,17 a 3,66 g.100 g⁻¹ de suco, em estágio inicial de maturação, e de 0,11 a 0,56 g.100 g⁻¹ de suco, quando maduras (MANICA, 2001).

O pH (potencial hidrogeniônico) representa o inverso da concentração de íons hidrogênio (H⁺) em um dado material. Sua determinação pode ser realizada com auxílio de um papel indicador ou de um potenciômetro. A capacidade tampão

de alguns sucos permite que ocorram grandes variações na acidez titulável, sem variações apreciáveis no pH (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Durante o amadurecimento há diminuição da acidez e, conseqüentemente, o aumento do pH (EVANGELISTA, 2005). A manga é considerada um fruto ácido, com a maioria dos cultivares apresentando valores de pH abaixo de 6,0 (LUCENA, 2006).

Carvalho et al. (2004) analisaram a AT e o pH de mangas da cultivar Palmer nas condições climáticas de Votuporanga - SP e relataram valores de 0,35 % e 4,1, respectivamente. Para Manica (2001), a polpa da cultivar Palmer apresenta acidez de 0,47 % e pH de 3,8. No estado da Bahia, Hojo et al. (2009) relataram valores de 0,8 g.100 g⁻¹ de polpa e pH de 3,3. Em mangas 'Palmer' produzidas em sistema orgânico, Galli et al. (2011) verificaram que a AT foi de 0,67 %.

Durante a maturação, ocorre maior demanda energética pelo consumo desses ácidos assim, com o amadurecimento, as frutas perdem rapidamente a acidez, porém, em alguns casos, há o aumento nos valores com o avanço da maturação. A acidez pode ser utilizada, em conjunto com os SSC, como ponto de referência do estágio de maturação. Atualmente, diversos métodos são utilizados para retardar a degradação dos ácidos orgânicos como, por exemplo, o uso do frio combinado ou não com atmosfera controlada, películas comestíveis, inibidores de etileno (CHITARRA; CHITARRA, 2005; HOJO et al., 2009; VIEIRA et al., 2010).

2. 4 Armazenamento sob atmosfera controlada (AC)

O trabalho científico mais antigo documentado de armazenamento sob AC foi feito por Berard (1821), que mostrou que frutas armazenadas em atmosferas com baixa concentração de O₂ não amadureciam, mas se fossem mantidas por um curto período e depois colocadas no ar atmosférico, elas continuavam a amadurecer. Entre 1850 e 1860 uma empresa de refrigeração comercial nos EUA testou a modificação dos níveis de CO₂ e o O₂ em câmaras contendo maçãs, tornando-a hermética. As maçãs foram mantidas em bom estado de conservação durante 11 meses, mas algumas frutas foram feridas; possivelmente por toxicidade por CO₂ (DALRYMPLE, 1967). Outros estudos foram sendo desenvolvidos, Sharples (1989)

menciona que Franklin Kidd e Cyril West foram os primeiros pesquisadores a utilizar a modificação da atmosfera para armazenamento prolongado de produtos hortícolas. Demonstraram que o uso adequado do método reduz a taxa respiratória em cerca de 50 %, quando comparada com a taxa respiratória do produto armazenado ao ar, nas mesmas condições de temperatura.

O armazenamento sob AC é muito utilizado comercialmente no Brasil para o armazenamento de maçãs e kiwi (BRACKMANN et al., 2003). Na Europa e nos EUA, a AC é a técnica mais comumente utilizada no armazenamento de frutas de caroço, como o pêssigo. Segundo Brackmann et al. (2007), para a exportação dos frutos, o transporte marítimo é o mais vantajoso economicamente, porém o período é mais prolongado, por isso é importante estabelecer condições adequadas para a manutenção e a qualidade dos frutos.

O objetivo do uso dessa tecnologia visa prolongar o período de oferta dos produtos hortícolas, assim como a refrigeração ou a atmosfera modificada (AM), pois são bastante importantes para o comércio (FELICIO et al., 2006), pois elas reduzem o metabolismo, diminuem a perda de peso, retardam o desenvolvimento de podridões e atrasam a senescência (SANTOS, 2011).

Deste modo, a AC consiste em expor as frutas a uma concentração conhecida de gases, normalmente reduzindo o O_2 e aumentando o CO_2 . Essa técnica tem por objetivo a redução, a um valor mínimo, das trocas gasosas relacionadas à respiração do produto. O efeito da redução do O_2 atua na inibição da cadeia respiratória, em que o O_2 é necessário no processo oxidativo. A ação do CO_2 ocorre no ciclo dos ácidos tricarboxílicos, inibindo diversas enzimas e reduzindo a atividade deste ciclo e, conseqüentemente, do metabolismo da fruta (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

A resposta das frutas ao armazenamento em AC varia com a espécie, a cultivar, condições de cultivo antes da colheita, o pré-tratamento para o armazenamento, estágio de maturação ou maturação na colheita, concentração de gases, a temperatura do armazenamento da câmara e o tempo de armazenamento. A característica do armazenamento em AC é que as variáveis devem ser rigorosamente controladas. Assim, as principais variáveis a serem consideradas são: temperatura, umidade relativa (UR), concentração de oxigênio, dióxido de

carbono e etileno e a duração de armazenamento (VALDEZ-FRAGOSO; MÚJICA-PAZ, 2016).

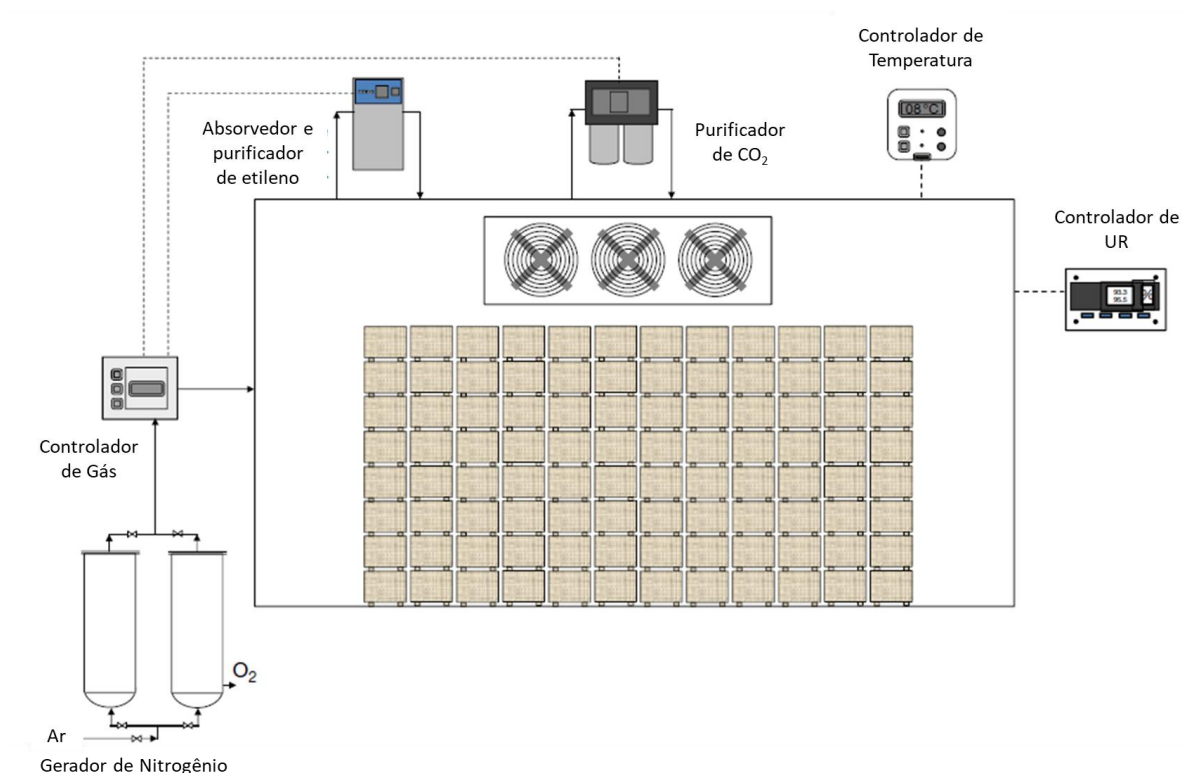


Figura 1. Representação de uma câmara fria com atmosfera controlada (AC). Adaptado de Valdez-Fragoso e Mújica-Paz (2016).

Segundo estes autores, o fator mais determinante da taxa de depreciação da qualidade pós-colheita dos frutos é a temperatura. Após o período de arrefecimento, os frutos devem ser armazenados à temperatura ótima para que conduzam as taxas respiratórias de forma mais lenta, visando proporcionar a redução de reações metabólicas. É imprescindível que a câmara fria deva manter a temperatura relativamente uniforme (ALMEIDA, 2005; VALDEZ-FRAGOSO; MÚJICA-PAZ, 2016).

A umidade relativa (UR) também é um fator de armazenamento essencial para manter a qualidade de frutas. Pelo efeito que tem na perda de água, no desenvolvimento de doenças e de algumas alterações fisiológicas, a UR é um fator determinante na manutenção da qualidade durante o armazenamento. A maioria destes produtos devem ser mantidos a uma UR elevada na câmara fria, perto do

ponto de saturação (95 %), para retardar o amadurecimento; para manter a frescura, sabor, e peso comercial; e para restringir o desenvolvimento de danos causados por frio em frutas tropicais sensíveis (ALMEIDA, 2005; VALDEZ-FRAGOSO; MÚJICA-PAZ, 2016).

As concentrações dos gases que frequentemente sofrem alteração são as do O_2 , CO_2 , do nitrogênio (N_2) e do hormônio gasoso etileno (C_2H_4), e devem ser objeto de atenção no armazenamento sob AC. A AC consiste no monitoramento e regulação da concentração de O_2 e de CO_2 na atmosfera dentro da câmara. Normalmente, o sistema mantém concentrações de O_2 inferiores e de CO_2 superiores às da atmosfera normal (21 % O_2 e 0,03 % CO_2). Os sistemas de monitoramento e controle medem e ajustam periodicamente as concentrações de O_2 e de CO_2 à medida que elas vão se alterando devido à atividade metabólica dos frutos ou a fugas através de fendas nas portas e nas paredes, no caso de escala industrial (ALMEIDA, 2005).

A redução das pressões parciais de O_2 atua diretamente na inibição da cadeia respiratória, destacadamente das reações do processo oxidativo. A elevação das pressões parciais de CO_2 diminui igualmente a atividade metabólica dos frutos ao atuar na inibição das reações do ciclo dos ácidos tricarboxílicos e, na diminuição da atividade de diversas enzimas. Em consequência, a alteração da composição gasosa nas câmaras durante a armazenagem diminui a atividade respiratória e a síntese e ação de etileno (WEBER et al., 2013).

As condições recomendadas para o armazenamento em AC encontrados na literatura para manga variam bastante. De maneira geral, sugere-se os seguintes parâmetros: temperatura de 12 – 14 °C, UR de 90 – 95 %, O_2 de 5,0 – 10 % e CO_2 de 0 – 10 %, no entanto, devem-se seguir as recomendações técnicas específicas para a cultivar a ser submetida ao armazenamento sob AC (VALDEZ-FRAGOSO; MÚJICA-PAZ, 2016).

As mangas após colhidas exibem elevada atividade metabólica, desse modo são submetidas ao armazenamento refrigerado com AC por apresentar alta perecibilidade e curta vida de prateleira, especialmente em condições de ambiente (SIVAKUMAR et al., 2011; LÓPEZ-MORA et al., 2013). No armazenamento refrigerado, pode apresentar dano ao frio, denominado de *chilling injury*, sob

condições de temperaturas abaixo de 13 °C (MILTRA; BALDWIN, 1997). Estes aspectos limitam o armazenamento tradicional, o manuseio e o potencial de transporte da manga (CHITARRA; CHITARRA, 2005; SIVAKUMAR et al., 2011). Em relação ao dano por frio, a intensidade deste dano varia com a temperatura de armazenamento e com o período de exposição (KLUGE et al., 2006). Por outro lado, quando armazenadas em temperaturas muito altas, estas pode provocar maiores atividades respiratórias e, conseqüentemente, perda de firmeza e alta incidência de podridões (BRACKMANN et al., 2008).

Em mangas, a sensibilidade ao frio tem limitado a extensão de seu período de armazenamento, comercialização e transporte (KADER; ARPAIA, 2002). Quando submetidas a temperaturas inferiores a 7 – 13 °C, dependendo do estágio de maturação e da cultivar, resultam na formação de pontuações necróticas e de regiões deprimidas e descoloridas em sua epiderme. Além disso, outros sintomas como enrijecimento da polpa, ausência de aroma característico e amadurecimento anormal também são notados (NAIR; SINGH, 2009). A incidência de injúria por frio promove o enfraquecimento dos tecidos, tornando-os incapazes de desenvolver normalmente os processos metabólicos, sendo comumente atribuído à alteração da permeabilidade da membrana lipídica que pode afetar também a transferência ou o fluxo de fluidos celulares (LYONS, 1973; WILLS et al., 1981; NISHIBA; MURATA, 1996). Pode afetar a parte estrutural dos frutos, como, por exemplo, os cloroplastos e a mitocôndria. Estas organelas podem sofrer desorganização, dilatação dos tilacóides, formação de pequenas vesículas no cloroplasto e acúmulo de gotículas de lipídios no cloroplasto (JAGELS, 1970).

As primeiras manifestações da injúria ao frio são o aumento de tamanho do cloroplasto e a desordem causada nos tilacóides. Prolongados períodos sob temperaturas que causam a injúria, levam ao acúmulo de gotículas de lipídios e ao escurecimento no estroma, além da desintegração da membrana que envolve o cloroplasto. Pode também ocorrer mistura do conteúdo do estroma com o citoplasma e diminuição do conteúdo de amido (JAGELS, 1970). Os sintomas associados com a ocorrência de dano pelo frio usualmente tornam-se aparentes somente após a transferência dos frutos para temperaturas mais elevadas (LEVITT, 1980; WANG, 1994). No entanto, os tipos, graus e suscetibilidade desses sintomas

são variáveis entre tecidos, organelas e as espécies (MANGRICH; SALTVEIT, 2000). Nunes et al. (2007) indicaram que 12 °C é a temperatura recomendada para o armazenamento de mangas 'Palmer' colhidas no estágio "de vez" ou com mais de 50 % da casca com cor vermelha ou amarela, sem risco da ocorrência de danos pelo frio.

De acordo com Brackmann e Chitarra (1998), para se obter o benefício da AC, o nível de O₂ deve ser reduzido a 1 – 3 % e o nível de CO₂ aumentado a 3 – 15 %, dependendo do produto. Algumas frutas e hortaliças apresentam boa resposta pós-colheita a super atmosfera de O₂, isoladamente ou em combinação com elevadas concentrações de CO₂ (KADER; BEN-YEHOSHUA, 2000).

Estudos têm demonstrado que AC com altos níveis de O₂ podem influenciar positivamente na fisiologia e na manutenção da qualidade pós-colheita dos vegetais, inibindo o escurecimento enzimático, prevenindo reações de fermentação anaeróbica e alterando o crescimento de microrganismos aeróbicos e anaeróbicos (KE et al., 1994). Porém super atmosferas de O₂ podem provocar estresse ao fruto e ocasionar aumento na atividade da enzima peroxidase (WANG; TIAN; XU, 2005).

Lana e Finger (2000) relatam que a atmosfera de armazenamento com baixa concentração de O₂ associada ou não a altas concentrações de CO₂ demonstram efeito sobre a degradação da clorofila. Atmosferas com níveis baixos de O₂ associadas ou não a níveis altos de CO₂, têm demonstrando efeitos benéficos na conservação de frutas, entretanto, podem gerar desarranjo celular culminando com a elevação dos níveis de acetaldeído, etanol, acetato de etila e lactato de etila, causando aromas indesejáveis aos frutos, quando estes são expostos acima dos seus respectivos limites de tolerância (KADER, 2003).

O uso da AC para aumentar a vida útil pós-colheita de mangas foi testado por vários autores. Kader (1986) recomendou o controle da atmosfera em 5 % de O₂ e 5 % de CO₂, mas algumas cultivares podem ter baixa tolerância a altos níveis de CO₂ e a níveis de O₂ menores que 2 % (BENDER; BRECHT, 2000). As cultivares Keitt, Tommy Atkins e Muska quando submetida ao armazenamento a 12 °C e sob atmosferas contendo 5 % de O₂ e 5 % de CO₂ puderam ser armazenadas por 20 dias, enquanto que o aparecimento de sabores estranhos e descoloração da casca

ocorreram quando as atmosferas continham 1 % de O₂ e/ou concentrações superiores a 15 % de CO₂ (BLEINROTH, 1994; NAKASONE; PAULL, 1998).

Os níveis de 5 % de O₂ e 5 % de CO₂ são comumente utilizados para o armazenamento sob AC de mangas, todavia, estes níveis não aumentaram a vida útil de frutos da cultivar Kent, mesmo quando o nível de CO₂ foi aumentado para 10 % (TRINIDAD et al., 1997). Por outro lado, Lizada e Ochagavia (1997) observaram que atmosferas contendo 10 % CO₂ e 5 % O₂ aumentaram a vida útil de frutos desta cultivar em 29 dias, oito a mais que os frutos controle. Em frutos da cultivar Tommy Atkins, a vida pós-colheita foi aumentada em 31 dias sob AC com 5 % CO₂ e 5 % O₂. Quando armazenada sob AC, destacadamente sob concentrações de CO₂ acima de 25 %, as mangas geralmente apresentam danos fisiológicos. Bender e Brecht (2000) observaram que mangas da cultivar Tommy Atkins produziram mais etanol quando armazenadas sob AC com 50 % e 70 % de CO₂ e que sua atividade respiratória foi muito mais intensa quando estas concentrações eram maiores que 45 %. A produção de compostos voláteis, responsáveis pelo aroma, também é afetada quando a concentração de CO₂ é maior que 6 %, e foi totalmente perdida em mangas 'Kensington Pride' armazenadas por 35 dias, sob AC com 2 % CO₂ e 6 % O₂ (LALEL et al., 2003). Segundo Lizada et al. (2004), as grandes variações observadas nos resultados relativos ao armazenamento de mangas sob AC devem-se às diferenças existentes quanto aos estádios de maturação, temperaturas e condições de cultivo.

Apesar de promissora, a resposta dos frutos de mangueira à AC tem sido contraditória, uma vez que algumas cultivares mostram somente um pequeno aumento na vida útil (O'HARE; PRASSAD, 1993). Embora tenha sido efetivo no prolongamento do armazenamento das mangas 'Tommy Atkins' e 'Kent' do Chile (LIZADA; OCHAGAVIA, 1997), o mesmo não foi observado para mangas 'Kent' do México (TRINIDAD et al., 1997). Pesis et al. (2000) relataram que ao se utilizar 5 % CO₂ e 10 % de O₂ foi possível reduzir o desenvolvimento da coloração da casca e os sintomas de dano pelo frio em mangas 'Keitt'.

Bender e Brecht (2000) demonstraram benefícios no uso da AC em mangas 'Haden' e 'Tommy Atkins' colhidas no estágio verde maturo, tais como a manutenção da qualidade e o retardamento do processo de amadurecimento, sendo

os tratamentos mais eficazes a pressão de 3 % O₂ por 2 ou 3 semanas, a 12 ou 15 °C, período mínimo requerido para transporte marítimo.

Uma recomendação otimizada de AC ainda não está disponível para mangas 'Palmer'. Porém, Teixeira e Durigan (2011) relataram que mangas 'Palmer' podem ser armazenadas a 12,8 °C em atmosferas com 1 - 10 % O₂ por até 28 dias. O aumento da concentração de CO₂ até 25 % não afetou a qualidade das mangas 'Palmer' durante o mesmo período de armazenamento (Teixeira et al., 2018). Assim, a manutenção da AC é uma abordagem promissora para melhorar a remessa de mangas 'Palmer' transportadas por via marítima para mercados distantes, que pode levar de três a quatro semanas.

3. Espectroscopia na região do infravermelho próximo (NIRS)

A descoberta da espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS) teve início no século XIX, com o estudo pioneiro do astrônomo Frederick William Herschel. Através de suas observações, este expressou suas primeiras considerações sobre a radiação infravermelha utilizando um prisma de vidro equipado com termômetros com bulbos pretos onde mediu as temperaturas de diferentes cores demonstrando que havia uma pequena variação de temperatura, notoriamente apresentando os efeitos térmicos nas diferentes regiões espectrais, que não podem ser observadas pelo olho humano (HERSCHEL, 1800 a, 1800b). Com isso, outros estudos foram desenvolvidos usando faixas espectrais no infravermelho próximo, médio e distante e também na região do ultravioleta (BURNS; CIURCZAK, 2008).

A radiação infravermelha não é bastante energética para causar transições eletrônicas e a absorção desta radiação limita-se a espécies moleculares que têm pequenas diferenças de energia entre diversos estados vibracionais e rotacionais (SKOOG; HOLLER; NIEMAN, 2002; SALA, 2008). O espectro de absorção no infravermelho tem origem quando a radiação eletromagnética incidente tem energia correspondente a uma transição entre dois níveis vibracionais. Para que aconteça absorção no infravermelho é indispensável que ocorra variação no momento de dipolo elétrico da molécula como resultado do seu movimento vibracional e rotacional. O momento de dipolo é determinado pela magnitude das diferenças de

carga e distância entre dois centros de cargas (SKOOG; HOLLER; NIEMAN, 2002; LUZ, 2003).

Os movimentos das vibrações moleculares podem ser classificados de estiramentos, deformações ou torsões. As vibrações de estiramento abrangem uma mudança continua na distância interatômica ao longo do eixo da ligação entre dois átomos; as vibrações de deformação compreendem mudanças nos ângulos planos entre duas ligações e as torsões envolvem mudanças no ângulo diédrico entre dois planos (COATES, 1999).

Na faixa da radiação do espectro infravermelho distinguem-se três regiões: a do infravermelho próximo (12.800 a 4.000 cm^{-1}), que é comumente conhecida como *near infrared* (NIR); a do infravermelho médio (4.000 a 200 cm^{-1}), *middle infrared* (MID) e do infravermelho distante (200 a 10 cm^{-1}), *far infrared* (FAR) (SKOOG; HOLLER; NIEMAN, 2002).

Os espectros no infravermelho podem ser obtidos a partir de amostras de diferentes naturezas, ou seja, sólidas, líquidas e gasosas. A qualidade dos espectros depende do método de preparo da amostra e do tipo de acessórios utilizado para a sua obtenção. Na NIRS a amostra é irradiada e após a interação radiação/matéria, e esta radiação pode ser refletida, absorvida ou transmitida (DAVIES, 2000). Enquanto a radiação interage com a amostra, têm-se como resultado mudanças espectrais devido a estas interações. Como resultado, existem três modos, normalmente, baseados em propriedades ópticas, de medir o produto da interação da radiação NIR com a amostra: reflectância difusa (Figura 2a), transmitância (Figura 2b) e interactância (Figura 2c) (BURNS; CIURCZAK, 2001; COSTA FILHO, 2003).

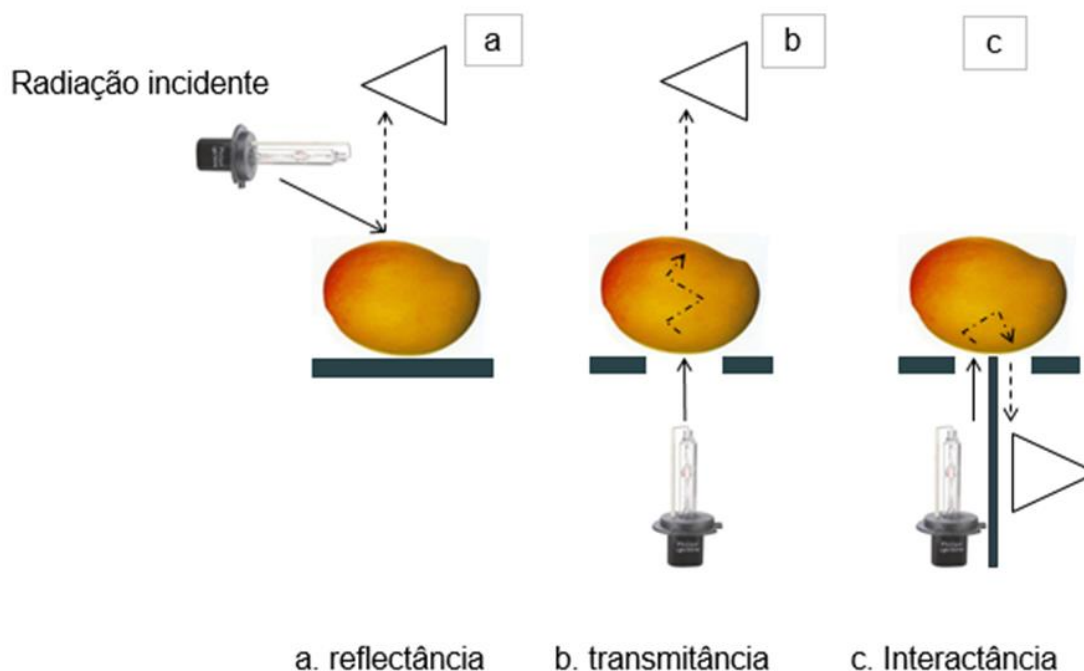


Figura 2. Reflectância difusa (a), transmitância (b) e interactância (c).

A transmitância é usualmente empregada para materiais transparentes. A reflectância difusa e interactância são utilizadas para líquidos, sólidos ou semissólidos dependendo das características de absorção e espalhamento das amostras (PASQUINI, 2003). Quando a radiação infravermelha passa por uma amostra, a energia que atravessa a mesma é medida como transmitância com respeito ao comprimento de onda. Esta não é a energia absorvida pela amostra, mas sim a diferença entre o total de energia que passa pela amostra e a energia absorvida. Quando a radiação infravermelha é direcionada a superfície de uma amostra sólida pode haver dois tipos de energia refletida. Uma é a reflexão especular, que não é absorvida pela amostra, apresentando somente a porção refletida pela superfície da amostra. A outra é a reflexão difusa que é a energia que penetra a superfície da amostra e retorna após ser refletida na porção interior da mesma (Figura 2a). Numa terceira possibilidade, a radiação incidente pode ter dois tipos de comportamentos simultaneamente, um relacionado à transmissão e outro a reflectância. Nessa ocasião, conforme mostrado na Figura 2c, este modo se denomina de interactância.

A difusão de luz na faixa NIR é maior e fatores como a estrutura física do produto e a presença de água na amostra podem influenciar na aquisição dos espectros (WILLIAMS; NORRIS, 1987). A principal vantagem da NIRS é a aquisição de espectros sem o preparo das amostras, ideal para acompanhamento de frutos intactos. Os sobretons e bandas de combinação são as características mais importantes na NIRS, sendo que devido à harmonicidade são observadas a ocorrência e as propriedades espectrais (frequência, intensidade) das bandas de absorção. As ligações químicas formadas por átomos de hidrogênio ou átomos mais leves são as que apresentam maior anarmonicidade. As posições das bandas representadas na Figura 3 são apenas aproximadas e foram compiladas a partir de uma quantidade limitada de dados experimentais (XIAOBO et al., 2010).

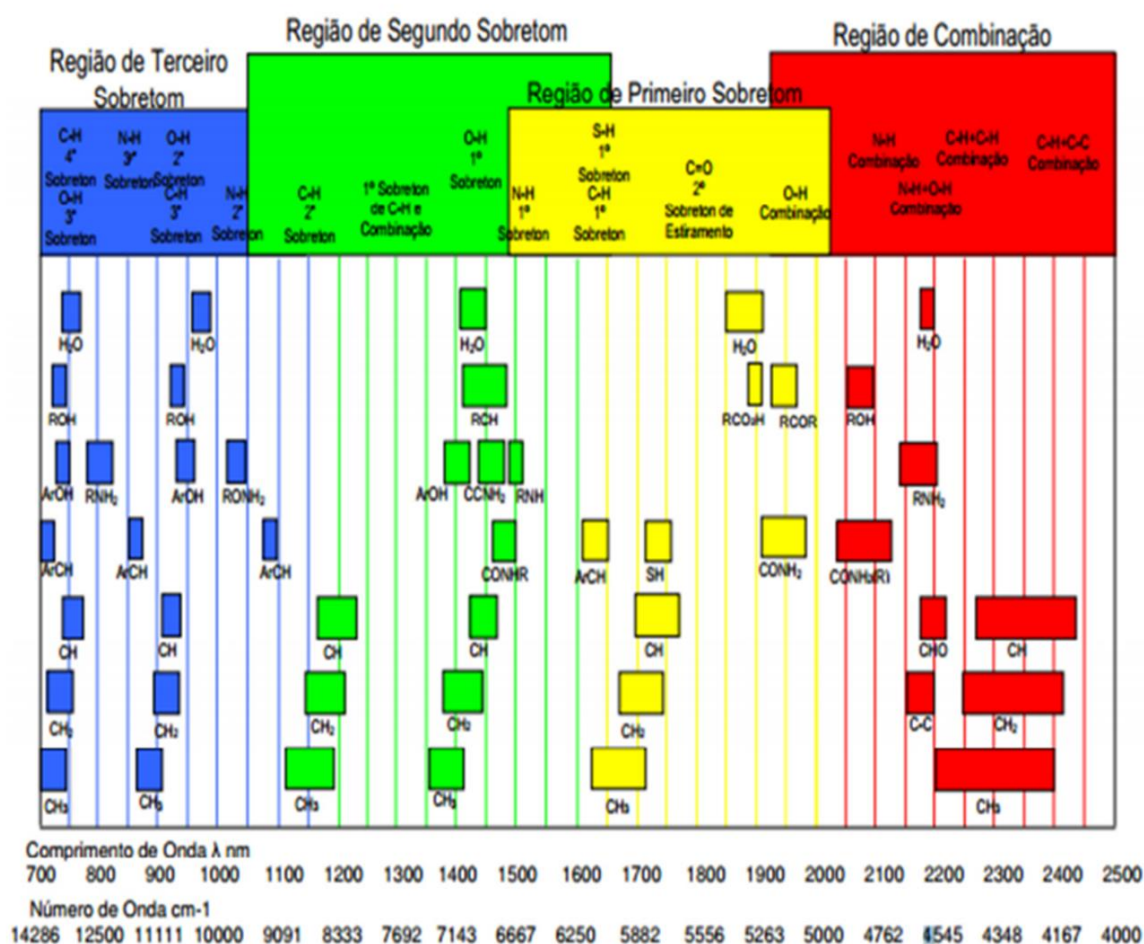


Figura 3. Sobretons e bandas de combinações na região do infravermelho próximo (NIR). Fonte: Xiaobo et al. (2010).

Assim, a aplicação da NIRS tem como objetivo principal obter informações qualitativas ou quantitativas de uma amostra por meio da interação das ondas eletromagnéticas do infravermelho com os constituintes da amostra, compreendendo as bandas de absorção e sobretons correspondentes a qualquer molécula contendo as ligações C-H, O-H, N-H e S-H (PASQUINI, 2003).

A NIRS, técnica não destrutiva, considerada como precisa, confiável, rápida e de baixo custo (WATANAWAN et al., 2014), vem sendo aplicada na avaliação da qualidade interna e do estágio de maturação de manga (DELWICHE et al., 2008; BALLY, 2011; JHA et al., 2012). As características físico-químicas que compõem a qualidade de frutos podem ser investigadas em menos de um minuto, sem a necessidade de preparação da amostra ou a utilização de produtos químicos (MAHAYOTHEE et al., 2004). Além disso, esta técnica pode ser utilizada por operadores não especializados após a calibração e validação, pois é um método secundário de determinação e, portanto, deve ser calibrado segundo um método de referência principal para o desenvolvimento do modelo de calibração (BUENO, 2011).

Os dados espectrais podem ser obtidos com equipamentos de bancada e/ou portáteis, sendo que estes últimos vêm sendo desenvolvidos pela disponibilidade de espectrômetros miniaturizados de baixo custo que podem ser utilizados, por exemplo, no campo para monitorar a maturidade das frutas (NICOLAÏ et al., 2007). Utilizando uma faixa espectral adequada e específica, com a NIRS é possível determinar mais de um indicador de qualidade ao mesmo tempo através de métodos quimiométricos de calibração multivariada (LAMMERTYN et al., 1998; SCHMILOVITCH et al., 2000).

Estudos anteriores demonstraram o potencial da NIRS para a caracterização não destrutiva de parâmetros de qualidade em mangas, tais como: determinação do teor de SSC, de MS, de AT, da firmeza da polpa, do teor de amido e de outras propriedades físico-químicas, os quais podem ser utilizados para a determinação precisa do estágio de maturação (GUTHRIE; WALSH, 1997; SCHMILOVITCH et al., 2000; SARANWONG et al., 2001; SARANWONG et al., 2003; MAHAYOTHEE et al., 2004; SARANWONG et al., 2004; SUBEDI et al., 2007; DELWICHE et al., 2008;

VALENTE et al., 2009; BETEMPS et al., 2011; SUBEDI; WALSH, 2011; JHA et al., 2012; JHA et al., 2014). Além do potencial para a determinação do estágio de maturação e qualidade dos frutos, a NIRS também tem sido sugerida como uma técnica para prever a qualidade de consumo e vida pós-colheita de mangas a partir de análises realizadas no momento da colheita (SARANWONG et al., 2004; SUBEDI et al., 2007; NASSUR, 2013).

No entanto, uma das limitações da utilização da NIRS, seja com instrumento portátil ou de bancada, em análise de qualidade de frutas, deve-se ao fato que as instrumentações utilizadas requerem calibrações específicas para cada parâmetro e para cada cultivar (NOFERINI et al., 2009 a, b). Por ser considerado um método secundário de determinação, deve ser calibrado segundo um método de referência principal para desenvolver um modelo de calibração (HONORATO et al., 2007).

Mais recentemente, o uso de espectrômetros NIR portáteis têm sido empregados em diversas áreas, como em aplicações geológicas e forenses (VÍTEK et al., 2012), farmacêuticas (TSUJIKAWA et al., 2014) e na qualidade pós-colheita de manga (RUNGPICHAYAPICHET et al., 2016). Na conservação pós-colheita, o uso de espectrômetros NIR portáteis é uma realidade em alguns países, contudo ainda é um campo aberto para pesquisa e desenvolvimento no Brasil (MORGENSTER et al., 2016).

Jha et al. (2014), utilizando o espectrômetro NIR portátil luminar 5030 (Brimrose Corp., Maryland, EUA), equipado com uma configuração óptica de reflectância difusa e um detector de InGaAs (1.200 - 2.200 nm), propuseram uma fórmula para a predição do índice de maturidade utilizando características físico-químicas e aceitação sensorial de mangas provenientes de pomares de nove estados indianos. O melhor modelo de predição foi obtido utilizando a regressão por mínimos quadrados parciais (PLS) após o tratamento de dados com Multiplicative Scatter Correction (MSC), na faixa de comprimento de onda de 1.600 -1.800 nm, com coeficientes de determinação (R^2) variando de 0,74 a 0,68 para o conjunto de calibração e validação, respectivamente.

Rungpichayapichet et al. (2016) avaliaram a predição de maturação e qualidade pós-colheita de mangas 'Nam Dokmai' e 'Si Thong', e demonstraram que com o uso de espectros obtidos por espectrômetro portátil VIS-NIR (HandySpec

Campo 1000, tec5AG, Oberursel, Alemanha), na faixa de 700 e 1.100 nm, foi possível a predição do teor de SSC ($R^2 = 0,90$; SEP = 1,2 %), firmeza ($R^2 = 0,82$; SEP = 4,22 N), AT ($R^2 = 0,74$; SEP = 0,38 %) e o índice de amadurecimento ($R^2 = 0,80$; SEP = 0,80).

Marques et al. (2016) demonstraram o potencial do espectrômetro NIR portátil MicroNIR ultracompacto 1700 (VIAVI, Santa Rosa, CA, EUA), baseado na tecnologia de filtro linear de variáveis (LVF) com um comprimento de onda entre 950 e 1.650 nm, em manga 'Tommy Atkins'. Estes obtiveram modelos de predição que apresentaram um erro quadrado médio de predição (RMSEP) de 0,92 e 0,55 °Brix para o teor de SSC, 0,67 e 0,51 % para MS, 0,50 e 0,17 % de AT, 0,72 e 12,2 N para firmeza.

Nordey et al. (2017) avaliaram mangas 'Cogshall' em três safras (2010/11, 2011/12, 2014/15) utilizando um espectrômetro portátil (LABSPEC 2500, Analytical Spectral Devices, Inc., Boulder, CO, EUA) com comprimento de onda de 800-2300 nm e encontraram os seguintes valores para predição (RMSEP) de 0,6 °Brix, 1,4 %, 5,9 meq.100 g FM⁻¹ e 3,16 °Brix para o teor de SSC, MS, AT e ângulo hue da polpa, respectivamente.

Anderson, Subedi e Walsh (2017) utilizando espectrômetro portátil F-750 (Felix Instruments, Washington, USA) estudaram de forma não invasiva a MS de mangas 'Calypso™' ainda nas árvores e obtiveram $R^2_p = 0,82$ e RMSEP = 0,52 % em mangas submetidas ao estresse hídrico, observaram que o déficit hídrico duas semanas antes da colheita resultou em aumento de MS e do °Brix, sem diminuir o tamanho do fruto e dessa forma demonstraram a capacidade do NIR de prever frutas em diferentes condições agronômicas.

Apesar de resultados promissores sobre a viabilidade do uso de espectrômetros NIR portáteis para se determinar os parâmetros de qualidade de manga, ainda não existem modelos desenvolvidos no Brasil para as diferentes cultivares de manga, especialmente para 'Palmer'.

3.1 Quimiometria

A quimiometria pode ser definida como a pesquisa e utilização de métodos matemáticos e estatísticos para o tratamento de dados químicos de forma a extrair uma maior quantidade de informações e melhores resultados analíticos multivariados (MARTENS; NAES, 1996), tais como os dados provenientes de espectros na região do NIR (BARROS NETO et al., 2006). Os métodos e algoritmos pertencentes à quimiometria foram essenciais para o estabelecimento e difusão da NIRS como uma poderosa ferramenta de análise em diversas aplicações qualitativas e quantitativas na química analítica (COSTA FILHO et al., 2002).

Os métodos quimiométricos são amplamente utilizados no tratamento de dados e foram divididos em diversas frentes de pesquisas e aplicações, tais como: planejamento e otimização de experimentos; pré-processamento de sinais analíticos; reconhecimento de padrões e classificação de dados; calibração multivariada; monitoramento e modelagem de processos multivariados e métodos de inteligência artificial (BEEBE et al., 1998; OTTO, 1999). Dentro desta divisão, a principal linha de pesquisa da quimiometria aplicada à química analítica tem sido a construção de modelos de regressão a partir de dados de primeira ordem, ou seja, dados que podem ser representados através de um vetor para cada amostra, sendo a construção desses modelos denominada de calibração multivariada (BRERETON, 2000) e esta é primordial para a utilização da NIRS.

O pré-processamento de dados espectrais pode ser definido como qualquer manipulação matemática dos dados realizada antes da construção dos modelos preditivos (BEEBE et al., 1998). As técnicas de pré-processamento de dados podem ser aplicadas tanto às amostras quanto às variáveis. As técnicas mais comumente aplicadas às variáveis são: centralização dos dados na média e escalonamento. Quando estes dois pré-processamentos são realizados simultaneamente, é dito que as colunas da matriz estão auto escalonadas pela variância ou somente que a matriz está auto escalonada (TEÓFILO, 2013). Dentre as diversas técnicas de pré-processamento aplicadas às amostras destacam-se: a suavização, a derivada, a correção multiplicativa de sinal (*Multiplicative Signal Correction* - MSC), a variação normal padrão (*Standard Normal Variate* - SNV), a correção de sinal ortogonal (*Orthogonal Signal Correction* - OSC) e a transformada wavelet (*Wavelet Transformation* WT) (MARQUES et al., 2017).

As análises mais comumente aplicadas a NIRS serão descritas a seguir.

3.1.1 Análise de Componentes Principais (PCA)

A análise de componentes principais (*Principal Component Analysis* - PCA), tem sido empregada como método de compreensão de dados e análise exploratória, pois esta tem a capacidade de extrair informações importantes dos dados espectrais dos grupos de treinamento ao gerar os componentes principais (PCs).

A PCA é uma ferramenta matemática que apresenta a propriedade de reduzir a dimensão dos dados originais, estando fundamentada na correlação entre as variáveis. A redução dos dados originais consiste na construção de um novo conjunto de dados (vetores de base) e, simultaneamente, origina um conjunto de novas variáveis linearmente independentes. O vetor base corresponde a novos eixos que são representados pelas componentes principais (*Principal Component* - PC). Os novos eixos gerados são ortogonais entre si e ordenados conforme o valor de variância explicada, sendo que o primeiro vetor está na direção de maior variância (Figura 4) (FERREIRA et al., 1999). E, a partir de um método padrão de reconhecimento baseado em PCA, será construído um modelo de calibração para a predição e identificação de amostras desconhecidas segundo o proposto por De Maesschalck et al. (1999).

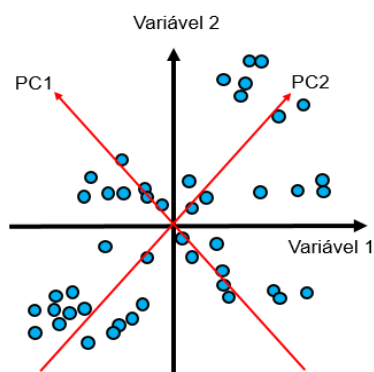


Figura 4. Primeira componente principal (PC1) e segunda componente principal (PC2) num espaço multidimensional. Fonte: Adaptado de Santos Neto et al. (2017).

3.1.2 Calibração multivariada

O termo calibração, do ponto de vista da quimiometria, refere-se à construção de um modelo matemático visando estabelecer uma relação quantitativa entre os dados de saída de um instrumento (medidas instrumentais multivariadas, tais como espectros NIR) e os parâmetros físicos ou químicos de interesse previamente determinados por uma técnica analítica de referência (FERREIRA et al., 1999).

O processo de desenvolvimento de modelos de calibração multivariados pode ser dividido em duas fases: calibração e validação externa (também chamada de predição). Adicionalmente, a fase de calibração é ainda dividida em duas etapas: a calibração, propriamente dita, que tem como objetivo o desenvolvimento de um modelo matemático, que é obtido relacionando-se a matriz de dados das variáveis instrumentais medidas denominada de independente (**X**) com o vetor contendo os valores das propriedades de interesse denominada de dependente (**Y**), Equação 1, determinados pelo método de referência; e a validação interna, também conhecida como validação cruzada, que tem como objetivo principal determinar o número ideal de variáveis que devem ser incluídas no modelo, bem como, estimar o seu erro médio. Pode-se considerar que esta etapa permite a otimização do modelo construído (MARQUES et al., 2017).

$$Y=f(X) = Xb \quad (1)$$

Onde: Y e ..., f e ..., X e

A organização dos dados na calibração multivariada, ilustrada a partir da análise de dados espectroquímicos, pode ser observada na Figura 5. Na fase de calibração são construídos os modelos matemáticos e, na fase de validação, estes modelos são avaliados usando ferramentas estatísticas de diagnóstico. Na fase de previsão (predição), os modelos matemáticos validados são aplicados para prever as concentrações ou propriedades de amostras desconhecidas (SIMÕES, 2008).

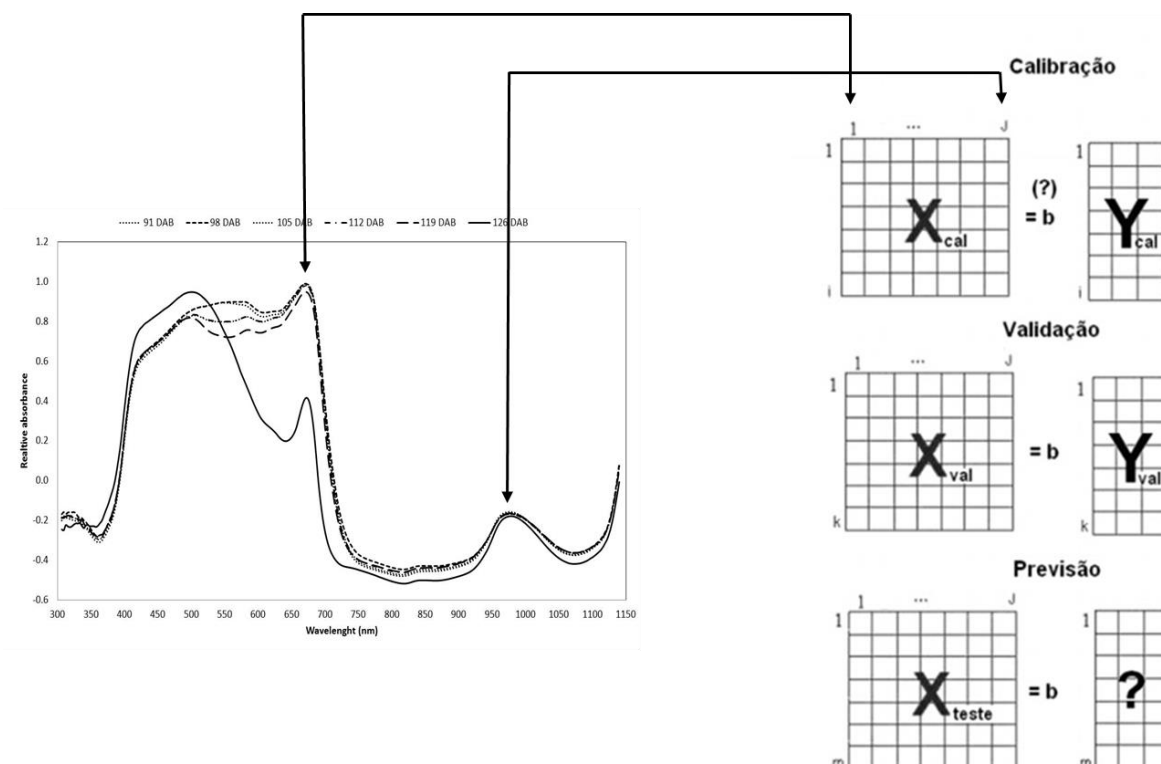


Figura 5. Organização dos dados na calibração multivariada para análise de dados espectrométricos. Fonte: Adaptado de Peralta-Zamora et al. (1997).

A construção de modelos de calibração multivariados pode ser realizada por meio de diversos métodos matemáticos, dentre os quais pode-se destacar: regressão por mínimos quadrados clássicos (*Classical Least Squares Regression* - CLSR), regressão linear múltipla (*Multiple Linear Regression* - MLR), regressão em componentes principais (*Principal Component Regression* - PCR), regressão por mínimos quadrados parciais (*Partial Least Squares Regression* - PLSR) (BEEBE et al., 1998; NAES et al., 2002), redes neurais artificiais (*Artificial Neural Networks* - ANN) (CERQUEIRA et al., 2001), regressão por vetores de suporte (*Support Vectors Regression* - SVR) (SMOLA; SCHÖLKOP, 2004) e máquinas de vetores de suporte por mínimos quadrados (*Least Squares Support Vector Machines* - LS-SVM) (CODGILL; DARDENNE, 2004; THISSEN et al., 2004), entre outros. Para a construção dos modelos de calibração usando a NIRS, a PLS é um dos métodos mais adotados (PASQUINI, 2003). Todavia, outros métodos devem ser testados e foi utilizado também o SVR.

3.1.3 Métodos de regressão

3.1.3.1 Regressão por Mínimos Quadrados Parciais (PLSR)

O método de calibração multivariada PLSR foi desenvolvido por Herman Wold quando este trabalhava com dados compilados na área de econometria, os '*path models*' (WOLD, 1982; WOLD; SJOSTROM; ERIKSSON, 2001). Porém, o desenvolvimento do PLSR na área de química é associado, em particular, ao trabalho de Harald Martens (1985), cuja tese contém muitos exemplos do uso da regressão PLSR.

Para a construção dos modelos PLSR, o método utiliza tanto às informações da matriz de informações espectrais (**X**), quanto as informações da matriz de concentrações (**Y**), por exemplo: MS e SSC. Estas matrizes são usadas ao mesmo tempo, correlacionando as mesmas a fim de se obter uma relação linear na fase de calibração (MARTENS; NAES, 1996).

A PLSR é o método de regressão mais usado na construção de modelos de calibração multivariada a partir de dados de primeira ordem. Assim como a regressão por componentes principais (PCR), por não requerer um conhecimento exato de todos os componentes presentes nas amostras, podendo realizar a previsão de amostras mesmo na presença de interferentes, porém estes interferentes também devem estar presentes por ocasião da construção do modelo (BEEBE; KOWALSKI, 1987).

A PLSR é baseada na decomposição dos dados, mas difere da PCR. Na PLSR a decomposição dos dados ocorre simultaneamente nas matrizes de dados, variáveis independentes (**X**) e da propriedade a ser prevista, variáveis dependentes (**Y**). Cada componente principal do modelo sofre uma pequena modificação para buscar a máxima covariância entre **X** e **Y** e passa a receber a denominação de variável latente (FERREIRA; ANTUNES; MELGO, 1999). Além disso, como na PCR, este método pode ser aplicado a um grande número de variáveis e na presença de interferentes (desde que estes estejam inclusos no modelo de calibração), visto que neste também ocorre a seleção do número de variáveis latentes para a calibração.

Neste método, as matrizes **X** e **Y** são decompostas em matrizes menores de acordo com as Equações 2 e 3 (MASSART et al., 1998).

$$X = TPT + E \quad (2)$$

$$Y = UQ^T + F \quad (3)$$

Onde: **X** e **Y** são as matrizes que serão decompostas, **T** e **U** são matrizes de escores, **P** é a matriz de pesos de **X**, **E** é o erro (resíduo) de **X**, **Q** é a matriz de pesos de **Y**, **F** é o erro (resíduo) de **Y**.

A decomposição em escores e pesos pode ser realizada empregando diferentes tipos de algoritmos. Todavia, eles produzem, no final, resultados similares. Um exemplo desses algoritmos é o *Non-linear Iterative Partial Least Squares* (NIPALS), que foi utilizado para a decomposição e posterior discussão dos dados (GELADI, KOWALSKI, 1986). O modelo final PLSR consiste em relacionar linearmente os escores da matriz **X** com os escores da matriz **Y**, de acordo com as Equações 4 e 5.

$$U = BT + G \quad (4)$$

$$Y = BTQ^T + H \quad (5)$$

Onde: **B** é a matriz dos coeficientes de regressão; **G** é a matriz de resíduos dos escores e **H** a matriz de resíduos de concentração.

3.1.3.2 Regressão por Vetores de Suporte (SVR)

As máquinas de vetores suporte (*Support Vector Machine* - SVM) são técnicas de aprendizado estatístico supervisionado originalmente desenvolvidas para a solução de problemas de classificação de padrões e, posteriormente, estendidas para a modelagem de dados de processos, sendo denominadas

regressão por vetores suporte (SVR) (BURGES, 1998; SCHÖLKOPF; SMOLA, 2004). A estratégia de aprendizado baseada em vetores suporte é fundamentada na teoria de aprendizado estatístico, desenvolvida por Vapnik em 1995, visando à proposição de técnicas de aprendizado de máquina que buscam maximizar a capacidade de generalização (VAPNIK, 1995).

O algoritmo de regressão de vetores de suporte utiliza uma função de perda ε -insensível (*loss function*) que ignora erros que estão além de uma certa distância dos valores considerados válidos, ou seja, erros são permitidos somente se forem menores do que ε . A função de perda ε -insensível também garante a esparsidade da variável dual. Assim, no SVR tem-se dois conceitos importantes, que são o ε -tubo e a função de perda ε -insensível (ALVES, 2012).

Seja $\mathbf{X}$ um conjunto de treinamento com n objetos $x_i \in \mathbf{X}$ com seus respectivos rótulos (respostas) $y_i \in \mathbf{Y}$. Considerando a equação (1), onde $w \cdot x$ é o produto escalar entre os vetores w e x , sendo que $w \in \mathbf{X}$ é o vetor normal ao hiperplano descrito e b corresponde a distância do hiperplano em relação a origem, com $b \in \mathbb{R}$ (FACELI et al., 2011).

$$f(x) = w \cdot x + b \quad (6)$$

Onde: w é o vetor de pesos, x é o vetor de entrada e b é o bias.

Considerando a função linear da equação (6), no SVR busca-se uma função com pequeno w , o que pode ser conseguido pela minimização da norma $\|w\|$. O algoritmo resolve, então, o problema de otimização apresentado na inequação (7) com as restrições apresentadas em (8) (SCHÖLKOPF; SMOLA, 2004; FACELI et al., 2011).

$$\text{Minimizar}_{w,b} \frac{1}{2} \|w\|^2 \quad (7)$$

$$\text{Com as restrições: } \begin{cases} y_i - w \cdot x_i - b \leq \varepsilon_i \\ w \cdot x_i + b - y_i \leq \varepsilon_i \end{cases} \quad (8)$$

Procura-se, então, a função linear que aproxime os pares (x_i, y_i) de treinamento com uma precisão de ε . A minimização da inequação (2) corresponde a obtenção do ε -tubo o mais delgado possível.

3.1.4 Parâmetros que indicam a qualidade de um modelo multivariado

Os modelos de calibração são avaliados através dos erros dos quadrados médios de calibração (RMSEC), Equação 9, de validação cruzada (RMSECV), Equação 10. Além desses parâmetros que auxiliam na escolha dos modelos de calibração, a análise dos valores dos coeficientes de determinação (R^2) entre os valores previstos pelo modelo e os valores experimentais permite avaliar a capacidade de previsão dos modelos multivariados. Após a escolha do melhor modelo de calibração, sua capacidade de previsão pode ser averiguada aplicando-o para determinar a concentração da composição de uma série de amostras de referência (validação externa), de composição diferente das amostras que faziam parte do conjunto de calibração e não participaram do desenvolvimento do modelo. Essas amostras de validação externa devem ser representativas (MARTENS; NAES, 1996).

$$RMSEC = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{ncal} (y_{prev} - y_{ref})^2}{ncal - K - 1}} \quad (9)$$

$$RMSECV = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{ncal} (y_{prev} - y_{ref})^2}{ncal}} \quad (10)$$

A partir dessa etapa, o modelo de calibração multivariado é avaliado através do erro dos quadrados médios de previsão (RMSEP), Equação 11. O erro da etapa de validação externa, expressa a exatidão que pode ser esperada para amostras de composição desconhecida (HAALAND, 1990).

$$RMSEP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{ncal} (y_{prev} - y_{ref})^2}{nval}} \quad (11)$$

O coeficiente de determinação (R^2) da etapa de validação externa refere-se aos valores obtidos pelos métodos de referência em função do valor previsto, calculado pelo modelo de regressão, e é um parâmetro muito importante e de fácil interpretação. Quanto mais próximo de 1, melhor o ajuste ou habilidade de previsão do modelo de regressão (MORGANO, 2005). Um valor de R^2 entre 0,66 e 0,81 indica previsões quantitativas aproximadas, enquanto que um valor de R^2 entre 0,82 e 0,90 revela boa previsão. Modelos de calibração com um valor acima de 0,91 para R^2 são considerados excelentes (WILLIAMS, 2003).

A relação de desempenho do desvio (*Residual Prediction Deviation* ou *Relative Predictive Determinant* - RPD) é uma figura de mérito utilizada para verificar a eficiência do modelo em relação à variação natural das amostras. Este parâmetro é utilizado para comparação entre modelos com diferentes faixas analíticas ou em termos absolutos. O RPD é calculado para os conjuntos de calibração e validação, separadamente, conforme descrito nas Equações 12 e 13.

$$RPD_{cal} = \frac{DP_{cal}}{RMSECV} \quad (12)$$

$$RPD_{val} = \frac{DP_{val}}{RMSEP} \quad (13)$$

De acordo Nicolaï et al. (2007) os valores de RPD se referem a acurácia dos modelos, um RPD entre 1,5 e 2,0 significa que o modelo pode discriminar valores baixos de valores altos da variável resposta; valores entre 2,0 e 2,5 indicam que previsões quantitativas grosseiras são possíveis; valores entre 2,5 e 3,0 correspondem a uma boa predição; e valores acima são modelos de excelente precisão.

5. REFERÊNCIAS

ABBOTT, J. A. Quality measurement of fruits and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 15, n. 3, p. 207-225, 1999.

ABBOTT, J. A.; MASSIE, D. R. Nondestructive measurement of kiwifruit firmness. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 123, n. 2, p. 317-322, 1998.

ADAMS, J. B. Review: enzymes inactivation during heat processing of food stuffs. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 26, n. 1, p. 1-20, 1991.

AGRIANUAL 2014. **Anuário da agricultura brasileira**. Campinas: FNP Consultoria & Agroinformativos, 2014. p. 328-330.

ALMEIDA, D. P. F. **Manuseamento de produtos hortofrutícolas**. Porto: SPI – Sociedade Portuguesa de Inovação, 2005. p. 71-73.

ALVES, J. C. L. **Máquinas de vetores de suporte aplicada a dados de espectroscopia NIR de combustíveis e lubrificantes para o desenvolvimento de modelos de regressão e classificação**. 2012. 272 f. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

ALVES, R. E.; FILGUEIRAS, H. A. C.; MENEZES, J. B.; ASSIS, J. S.; LIMA, M. A. C. de; AMORIM, T. B. F.; MARTINS, A. G. Colheita e Pós-colheita. In: GEN, P. J. C.; PINTO, A. C. Q. (Ed.). **A Cultura da mangueira**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. p. 383-405.

WALSH, K. Australian Mango Industry Association. **Dry matter matters**. Brisbane Markets: AMIA, 2016. Disponível em: <<https://www.industry.mangoes.net.au/resource-collection/2016/3/6/dry-matter-matters>>. Acesso em: 12 maio 2018.

ANDERSON, N. T.; SUBEDI, P. P.; WALSH, K. B. Manipulation of mango fruit dry matter content to improve eating quality. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 226, p. 316-321, 2017.

ANDREWS, P. K.; LI, S. Partial purification and characterization of b-galactosidase from sweet berry, a nonclimateric fruit. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 42, n. 10, p. 2177-2182, 1994.

AOAC (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS). Official methods of analysis of the association of official analytical chemists (method 934.06). Arlington, 1995. Chapter 37. p. 4.

ASSIS, J. S. **Cultivo da mangueira: colheita e pós-colheita**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, jul. 2004. (Sistema de Produção, 2). Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Manga/CultivodaMangueira/colheita.htm>>. Acesso em: 12 maio de 2018.

AWAD, M. **Fisiologia pós-colheita de frutos**. São Paulo: Nobel, 1993. 114 p.

BALLY, I. S. E. Advances in research and development of mango industry. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, p. 57-63, 2011.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. 25 Anos de Quimiometria no Brasil. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 6, p. 1401-1406, 2006.

BEEBE, K. R.; PELL, R. J.; SEASHOLTZ, M. B. **Chemometrics**: a practical guide. New York: A Wiley - Interscience Publication, 1998.

BEEBE; K. R.; KOWALSKI, B. An introduction to multivariate calibration and analysis. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 59, n. 17, p. 1007A-1017A, 1987.

BENDER, R. J.; BRECHT, J. K.; SARGENT, S. A. Mango tolerance to reduced oxygen levels in controlled atmosphere storage. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 125, n. 6, p. 707-713, 2000.

BENDER, R. J.; BRECHT, J. Respiração e produção de etanol e de etileno em mangas armazenadas sob diferentes concentrações de dióxido de carbono e oxigênio. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 35, n. 5, p. 865-871, 2000.

BERARD, J. E. Memoire sur la maturation des fruits. **Annales de Chimie et de Physique**, v. 26, n. 1821, p. 152-183, 225-251.

BERNARDES-SILVA, A. P. F.; LAJOLO, F. M.; CORDENUNSI, B. R. Evolução dos teores de amido e açúcares solúveis durante o desenvolvimento e amadurecimento de diferentes cultivares de manga. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v. 23, p. 116-120, 2003.

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**, Jaboticabal, v. 33, p. 306-313, 2011.

BLEINROTH, E. W. Capítulo 2. In: NETO, A. G.; GAYET, J. P.; BLEINROTH, E. W.; MATALLO, M.; GARCIA, A. E.; ARDITO, E. F. C.; GARCIA, E. E. C.; BORDIN, M. R. **Manga para exportação**: procedimentos de colheita e pós-colheita. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. p. 11-28. (Série Publicações Técnicas FRUPEX, 4).

BRACKMAN, A.; CHITARRA, A. B. Atmosfera controlada e atmosfera modificada. In: BORÉM, F. M. (Coord.). **Armazenamento e processamento de produtos agrícolas**. Lavras: UFLA/SBEA, 1998. p. 133-169.

BRACKMANN, A.; PETERLE, M. E.; PINTO, J. A. V.; WEBER, A.; SAUTTER, C. K.; EISERMANN, A. C. Temperatura e umidade relativa na qualidade da tangerina 'Montenegrina' armazenada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 8, p. 2151-2156, 2008.

BRACKMANN, A.; PINTO, J. A. V.; WEBER, A.; NEUWALD, D. A.; STEFFENS, C. A. Indução da perda de massa fresca e ocorrência de distúrbios fisiológicos em maçãs 'Royal Gala' durante o armazenamento em atmosfera controlada. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 87-92, 2007.

BRACKMANN, A.; STEFFENS, C. A.; NEUWALD, D. A.; SESTARI, I. Armazenamento de maçã 'gala' em atmosfera controlada com remoção de etileno. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 4, p. 647-650, 2003.

BRADLEY, B. F.; SCUDAMORE-SMITH, P. D. Dry matter and maturity standard for freezing mangoes. **Food Technology**, Chicago, v. 39, p. 298-300, 1987.

BRECHT, J. K.; SARGENT, S. A.; KADER, A. A.; MITCHAM, E. J.; MAUL, F.; BRECHT, P. E.; MENOCAL, O. **Mango postharvest best management practices manual**. Gainesville: University of Florida. Horticultural Sciences Department; 2010. 74 p.

BRERETON, R. G. Introduction to multivariate calibration in analytical chemistry. **Analyst**, London, v. 125, p. 2125-2154, 2000.

BRINSON, K.; DEY, P. M.; JOHN, M. A.; PRIDHAM, J. B. Postharvest changes in *Mangifera indica* mesocarp cell walls and cytoplasmic polysaccharides. **Phytochemistry**, Oxford, v. 27, n. 3, p. 719-723, 1988.

BRODY, A. L. **Envasado de alimentos en atmosferas controladas, modificadas y a vacío**. Zaragoza: Acribia, 1996. 220 p.

BUENO, A. F. **Desenvolvimento de um analisador de processo por espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) para previsão de propriedades de derivados de petróleo**. 2011. 235 f. Tese (Doutorado em Química) - Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

BURGES, C. J. C. A tutorial on support vector machines for pattern recognition. **Data Mining and Knowledge Discovery**, New York, v. 2, n. 2, p. 121-167, 1998.

BURNS, D. A.; CIURCZAK, E. W. **Handbook of Near-Infrared Analysis**. New York: Marcel Dekker, 2001.

BURNS, D. A.; CIURCZAK, E. W. **Handbook of near-infrared analysis**. 3th ed. Boca Raton: CRC, 2008. 808 p.

BUTZ, P.; HOFMANN, C.; TAUSCHER, B. Recent developments in noninvasive techniques for fresh fruit and vegetable internal quality analysis. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 70, n. 9, p. 131-134, 2005.

CAMARGO FILHO, W. P.; ALVES, H. S.; MAZZEIL, A. R. Mercado de manga no Brasil: contexto mundial, variedades e sazonalidade. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 34, n. 5, p. 60-68, 2004.

CAMARGOS, J. A. A.; GONÇALEZ, J. C. A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira. **Brasil Florestal**, Brasília, DF, n. 71, p. 30-41, 2001.

CARDELLO, H. M. A. B.; CARDELLO, L. Teor de vitamina C, atividade de ascorbato oxidase e perfil sensorial de manga (*Mangifera indica* L.) var. Haden, durante o amadurecimento. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, SP, v. 18, n. 2, p. 211-217, 1998.

CARVALHO, C. R. L.; ROSSETTO, C. J.; MANTOVANI, D. M. B.; MORGANO, M. A.; CASTRO, J. V.; BORTOLETTO, N. Avaliação de cultivares de mangueira selecionadas pelo Instituto Agronômico de Campinas comparadas a outras de importância comercial. **Revista Brasileiras de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 264-271, 2004.

ÇENGEL, Y.; CIMBALA, J. M. **Mecânica dos fluidos**: fundamentos e aplicações. São Paulo: McGraw-Hill, Bookman, AMGH, 2015.

CERQUEIRA, E. O.; ANDRADE, J. C.; POPPI, R. J. Redes Neurais e suas aplicações em calibração multivariada. **Química Nova**, São Paulo, v. 24, n. 6, p. 864, 2001.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças**: fisiologia e manuseio. 2. ed. rev. e ampl. Lavras: UFLA, 2005. 785 p.

COATES, J. A. Review of current new technology: Used in instrumentation for industrial vibrational spectroscopy. **Spectroscopy**, Iselin, New Jersey, v. 10, p. 20-24, 1999.

CODGILL, R. P.; DARDENNE, P. Least-square support vector machines for chemometrics: an introduction and evaluation. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, London, v. 12, n. 2, p. 93-100, 2004.

COSTA FILHO, P. A. **Estudo comparativo de técnicas de inteligência artificial e modelos lineares em determinações quantitativas no infravermelho próximo**. 2003. 201 f. Tese (Doutorado em Química) - Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

COSTA FILHO, P. A.; POPPI, R. J. Aplicação de algoritmos genéticos na seleção de variáveis em espectroscopia no infravermelho médio. Determinação simultânea de glicose, maltose e frutose. **Química Nova**, São Paulo, v. 25, n. 1, p. 46, 2002.

COSTA, J. G.; SANTOS, C. A. F. Cultivares. In: MOUCO, M. A. C. **Cultivo da Mangueira**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, versão eletrônica, 2004. (Sistemas de Produção, 2).

CUNHA, G. A. P.; PINTO, A. C. Q; FERREIRA, F. R. Origem, dispersão, taxonomia e botânica. In: GENU, P. J. C.; PINTO, A. C. Q. (Ed.). **A cultura da mangueira**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2002, p. 407-432.

DALRYMPLE, D. G. **The development of controlled atmosphere storage of fruit.** Washington, DC: Federal Extension Service, U.S. Department of Agriculture, 1967. 56 p.

DAVIES, A. M. C. William Herschel and the discovery of near infrared. **Spectroscopy Europe**, Chichester, v. 11, n. 2, p. 10-16, 2000.

DE BAERDEMAEKER, J. The use of mechanical resonance measurements to determine fruit texture. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v. 258, p. 331-340, 1988.

DE KETELAERE, B.; HOWARTH, M.S.; CREZEE, L.; LAMMERTYN, J.; VIAENE, K.; BULENS, I.; DE BAERDEMAEKER, J. Postharvest firmness changes as measured by acoustic and low-mass impact devices: a comparison of techniques. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 41, n. 3, p. 275-284, 2006.

DE MAESSCHALCK, R.; CANDOLFI, A.; MASSART, D. L.; HEUERDING, S. Decision criteria for soft independent modeling of class analogy applied to near infrared data. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, Amsterdam, v. 47, n. 1, p. 65-77, 1999.

DELWICHE, S. R.; MEKWATANAKARN, W.; WANG, C. Y. Soluble solids and simple sugars measurement in intact mango using near infrared spectroscopy. **HortTechnology**, Alexandria, v. 18, n. 3, p. 410-416, 2008.

DICK, E.; ADOPO, A. N.; CAMARA, B.; MOUDIOH, E. Influence of maturity stage of mango at harvest on its ripening quality. **Fruits**, Paris, v. 67, n. 1, p. 13-18, 2009.

DO, J. Y.; SALUNKHE, D. K. Almacenamiento em atmosfera controlada. In: PANTASTICO, E. B. (Ed.). **Fisiologia de la postrecoleccion, manejo y utilizacion de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales.** México: Compañía Editorial Continental, 1979, p. 209-221.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis.** 3. ed. New York: Wiley, 1998.

ELGAR, H. J.; BURMEISTER, D. M.; WATKINS, C. B. CO₂ and O₂ effects on a browning disorder in 'Braeburn' apple. In: INTERNATIONAL CONTROLLED ATMOSPHERE RESEARCH CONFERENCEINT, 7., 1997. Davis, EUA. **Proceedings...** Davis: University of California, 1997. v. 2, p. 198-203.

EVANGELISTA, J. **Tecnologia de alimentos.** 2. ed. São Paulo: Editora Atheneu, 2005.

FACELI, K.; LORENA, A. C.; GAMA, J.; CARVALHO, A. C. P. L. F. **Inteligência artificial: uma abordagem de aprendizado de máquina.** Rio de Janeiro: LTC, 2011.

FACHINELLO, J. C.; NACHTIGAL, J. C. **Fruticultura**: fundamentos e práticas. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. Disponível em: <http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/download/livro/fruticulturafundamentos_p_ratica/>. Acesso em: 19 março 2018.

FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS). **FAOSTAT**. Rome, 2017. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data>>. Acesso em: 19 mar. 2018.

FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS). **FAOSTAT: 2013**. Rome, 2017. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/>>. Acesso em: 30 jul. 2016.

FELICIO, A. H.; JOMORI, M. L. L.; LIMA, G. P. P.; BERNUSSI, A. A. V.; ALVES, R. M.; SASAKI, F. F.; KLUGE, R. A.; JACOMINO, A. P. Condicionamento térmico e fungicida na conservação refrigerada de tangor 'Murcott'. **Revista Brasileira Agrociência**, Pelotas, v. 12, n. 3, p. 333-339, 2006.

FERREIRA, M. D.; SPRICIGO, P. C. **Colorimetria**: princípios de aplicações na agricultura. In: FERREIRA, M. D. (Org.). Instrumentação pós-colheita em frutas e hortaliças. Brasília, DF: Embrapa, 2017. v. 1, p. 209-220.

FERREIRA, M. M. C.; ANTUNES, A. M.; MELGO, M. S.; VOLPE, P. L. O. Quimiometria I: calibração multivariada, um tutorial. **Química Nova**, São Paulo, v. 22, n. 5, p. 724, 1999.

FILGUEIRAS, H. A. C.; MORAIS, P. L. D.; ARAÚJO, E. C. E. A.; VASCONCELOS, L. F. L.; PEREIRA, M. E. C.; ALVES, R. E. Maturation of 'Tommy Atkins' mango grown in Piauí, Brasil. In: INTERNATIONAL MANGO SYMPOSIUM, 7., 2002, Recife-PE. **Anais...** Recife: [s.n.], 2002. p. 311.

FISHMAN, S.; M. GÉNARD. A biophysical model of fruit growth: simulation of seasonal and diurnal dynamics of mass. **Plant, Cell and Environment**, Chichester, v. 21, n. 8, p. 739-752, 1998.

GALLI, J. A.; ARRUDA-PALHARINI, M. C.; FISCHER, I. H.; MARTINS, A. L. M. Características físico-químicas de variedades de manga cultivadas em sistema orgânico. **Pesquisa & Tecnologia**, [S.l.], v. 8, n. 2, não paginado, 2011.

GARCIA-RAMOS, F. J.; VALERO, C.; HOMER, I.; ORTIZ-CANAVATE, J.; RUIZ-ALTISENT, M. Non-destructive fruit firmness sensors: a review. **Spanish Journal of Agricultural Research**, Madrid, v. 3, n. 1, p. 61-73, 2005.

GELADI, P.; KOWALSKI, B. Partial least-squares regression: a tutorial. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 185, p. 1-17, 1986.

GONZÁLEZ-MOSCOSO, S. **Proposing minimum quality indices and improving ripening protocol for imported mangos (*Mangifera indica* L.) to the United**

States for the improvement of consumer quality. 2014. 64 f. Thesis - University of Califórnia, Davis.

GORGATTI NETTO, A.; GAYET, J. P.; BLEINROTH, E. W.; MATALLO, M.; GARCIA, A. E.; ARDITO, E. F. G.; GARCIA, E. E. C.; BORDIN, M. R. **Manga para exportação**: procedimentos de colheita e pós-colheita. Brasília, DF: MAARA-SDR/Embrapa-SPI, 1994. 44 p. (Publicações técnicas FrupeX, 4).

GUTHRIE, J. A.; WALSH, K. B. Non-invasive assessment of pineapple and mango fruit quality using near infrared spectroscopy. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Australia, v. 37, n. 2, p. 253-263, 1997.

HAALAND, D. M. Multivariate calibration methods applied to quantitative FT-IR analysis, in practical fourier transform infrared spectroscopy. In: FERRARO, J. R.; KRISMAN, K. **Industrial and Laboratory Chemical Analysis**. San Diego: Academic Press, 1999. p. 395-469.

HAGERMAN, A. E.; AUSTIN, P. J. Continuous spectrophotometric assay for plant pectin methyl esterase. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, Kansas, v. 34, n. 3, p. 440-444, 1986.

HERSCHEL, W. Experiments on the refrangibility of the invisible rays of the sun. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, London, v. 90, p. 284-292, 1800a.

HERSCHEL, W. Experiments on the solar, and on the terrestrial rays that occasion heat; with a comparative view of the laws to which light and heat, or rather the rays which occasion them, are subject, in order to determine whether they are the same, or different. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, London, v. 90, p. 293-326, 1800b.

HOJO, E. T. D. **Qualidade de mangas 'Palmer' tratadas com 1-metilciclopropeno e armazenadas sob refrigeração**. 2005. 127 f. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras 2005.

HOJO, E. T. D.; ABREU, C. M. P.; ASMAR, S. A.; HOJO, R. H.; CÔRREA, A. D.; VILAS BOAS, E. V. B. Avaliação da qualidade de manga 'Palmer' tratada com 1-metilciclopropeno e armazenada sob refrigeração e condição ambiente. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 1, p. 28-38, 2009.

HONORATO, F. A.; BARROS NETO, B.; MARTINS, M. N.; GALVÃO, R. K. H.; PIMENTEL, M. F. Transferência de calibração em métodos multivariados. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 5, p. 1301-1312, 2007.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Sistema IBGE de recuperação automática - SIDRA**. [S.l.], 2017. [Levantamento sistemático da

produção agrícola]. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 19 março 2018.

JAGELS, R. Photosynthetic apparatus in *Selaginella*. II. Changes in plastid ultrastructure and pigment content under different light and temperature regimes. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 48, n. 10, p. 1853-1860, 1970.

JAREN, C.; GARCIA-PARDO, E. Using non-destructive impact testing for sorting fruits. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 53, n. 1, p. 89-95, 2002.

JHA, S. N.; CHOPRA, S.; KINGSLEY, A. R. P. Modeling of color values for nondestructive evaluation of maturity of mango. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 78, n. 1, p. 22-26, 2007.

JHA, S. N.; JAISWAL, P.; NARSAIAH, K.; GUPTA, M.; BHARDWAJ, R.; SINGH, A. K. Non-destructive prediction of sweetness of intact mango using near infrared spectroscopy. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 138, n. 1, p. 171-175, 2012.

JHA, S. N.; KINGSLEY, A. R. P.; CHOPRA, S. Nondestructive determination of firmness and yellowness of mango during growth and storage using visual spectroscopy. **Biosystems Engineering**, London, v. 94, n. 3, p. 397-402, 2006.

JHA, S. N.; NARSAIAH, K.; JAISWAL, P.; BHARDWAJ, R.; GUPTA, M.; KUMAR, R.; SHARMA, R. Nondestructive prediction of maturity of mango using near infrared spectroscopy. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 124, p. 152-157, 2014.

JHA, S. N.; CHOPRA, S.; KINGSLEY, A. R. P. Determination of sweetness of intact mango using visual spectral analysis. **Biosystems Engineering**, London, v. 91, n. 2, p. 157-161, 2005.

JHA, S. N.; MATSUOKA, T. Non-destructive techniques for quality evaluation of intact fruit and vegetables. **Food Science and Technology Research**, Southampton, v. 6, n. 4, p. 248-251, 2000.

KADER, A. A. A summary of CA requirements and recommendations for fruits other than apples and pears. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 600, p. 737-740, 2003b.

KADER, A. A. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. **Food Technology**, Chicago, v. 40, n. 5, p. 99-104, 1986.

KADER, A. A. Fruit maturity, ripening, and quality relation ships. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 485, p. 203-208, 1999.

KADER, A. A. Postharvest biology and technology: an overview. In: KADER, A. A. (Ed.). **Postharvest technology of horticultural crops**. 3. ed. Los Angeles: University of California, 2003a. p. 39-47.

KADER, A. A.; ARPAIA, M. L. **Postharvest handling systems**: subtropical fruit. In: KADER, A. A. (Ed.). **Postharvest technology of horticultural crops**. 3rd. ed. Oakland: University of California, 2002. p. 375-384.

KADER, A. A.; BEN-YEHOSHUA, S. Effects of superatmospheric oxygen levels on postharvest physiology and quality of fresh fruits and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 20, n. 1, p. 1-13, 2000.

KAPSE, B. M.; KATRODIA, J. S. Ripening behaviour of 'Kesar' mangoes in relation to specific gravity. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n. 455, p. 669-677, 1997.

KE, D.; ZHOU, L.; KADER, A. A. Mode of O₂ and CO₂ action on strawberry ester biosynthesis. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 119, n. 5, p. 971- 975, 1994.

KETSA, S.; DAENGKANIT, T. Firmness and activities of polygalacturonase, pectinesterase, b-galactosidase and cellulase in ripening durian harvested at different stages of maturity. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 80, p. 181-188, 1999.

KIENZLE, S.; SRUAMSIRI, P.; CARLE, R.; SIRISAKULWAT, S.; SPREER, W.; NEIDHART, S. Harvest maturity specification for mango fruit (*Mangifera indica* L. 'Chok Anan') in regard to long supply chains. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 61, p. 41-55, 2011.

KIENZLE, S.; SRUAMSIRI, P.; CARLE, R.; SIRISAKULWAT, S.; SPREER, W.; NEIDHART, S. Harvest maturity detection for 'Nam Dokmai #4' mango fruit (*Mangifera indica* L.) in consideration of long supply chains. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 72, p. 64-75, 2012.

KLUGE, R. A.; AZEVEDO, R. A.; JOMORI, M. L. L.; EDAGI, F. K.; JACOMINO, A. P.; GAZIOLA, S. A.; AGUILA, J. S. Efeitos de tratamentos térmicos aplicados sobre frutas cítricas armazenadas sob refrigeração. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 5, p. 1388-1396, 2006.

KLUGE, R. A.; NACHTIGAL, J. C.; FACHINELLO, J. C.; BILHALVA, A. B. **Fisiologia e manejo pós-colheita de frutas de clima temperado**. 2. ed. Campinas: Livraria e Editora Rural, 2002. 214 p.

KLUGE, R. A.; SCARPARE FILHO, J. A.; JACOMINO, A. P.; PEIXOTO, C. P. **Distúrbios fisiológicos em frutos**. Piracicaba: FEALQ, 2001. 58 p.

KOSIVACHINDA, S.; LEE, S. K.; POERNOMO, S. Maturity indices for harvesting of mango. In: MENDOZA, D. B.; JRANDWILLS, R. B. H. (Ed.). **Mango**: fruit development, postharvest physiology and marketing in ASEAN. Kuala Lumpur, Malaysia: Association of South-East Asian Nations (ASEAN), Food Handling Bureau, 1984. p. 33-38.

KRAMER, A. Fruits and vegetables. In: TWIGG, B. A. **Quality control for food industry**. Connecticut: A VI Publishing Company, 1973. v. 2, p. 157-227.

LAKSHIMNARAYANA, S.; SUBHADRA, N. V.; SUBRAMANYAM, H. Some aspects of developmental physiology of mango fruit. **Journal of Horticultural Science**, Abingdon, v. 45, p. 133-142, 1970.

LALEL, H. J. D.; SING, Z.; TAN, S. C. The role of ethylene in mango fruit aroma volatiles biosynthesis. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, Oxford, v. 78, n. 4, p. 485-495, 2003.

LAMMERTYN, J.; NICOLAÏ, B. M.; DE SMEDT, V.; DE BAERDEMAEKER, J. Nondestructive measurement of acidity, soluble solids and firmness of Jonagold apples using. NIR-spectroscopy. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 41, n. 4, p. 1089-1094, 1998.

LANA, M. M.; FINGER, F. L. **Atmosfera modificada e controlada**: aplicação na conservação de produtos hortícolas. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. 34 p.

LE ROUX, X.; WALCROFT, A. S.; DAUDET, F. A.; SINOQUET, H.; CHAVES, M. M.; RODRIGUES, A.; OSORIO, L. Photosynthetic light acclimation in peach leaves: importance of changes in mass: area ratio, nitrogen content, and leaf nitrogen partitioning. **Tree Physiology**, Oxford, v. 21, n. 6, p. 377-386, 2001.

LÉCHAUDEL, M.; GÉNARD, M.; LESCOURRET, F.; URBAN, L.; JANNOYER, M. Leaf-to-fruit ratio affects water and dry-matter content of mango fruit. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, Oxford, v. 77, p. 773-777, 2002.

LEVITT, J. **Responses of plants to environmental stresses**: chilling, freezing and high temperature stresses. 2. ed. New York: Academic Press, 1980. 497 p.

LIMA, M. A. C. **Manga**: firmeza da polpa. Brasília, DF: Agência de Informação EMBRAPA, [abr. 2015?]. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia22/AG01/arvore/AG01_145_24112005115227.html>. Acesso em: 16 abr. 2018.

LIRIO, V. S. Panorama econômico da cultura e comercialização da manga. In: ROZANE, D. E.; DAREZZO, R. J.; AGUIAR, R. L.; AGUILERA, G. H. A.; SAMBOLIM, L. **Manga**: produção integrada, industrialização e comercialização. Viçosa, MG: UFV, 2004. p. 1-15.

LIZADA, C. Mango. In: SEYMOUR, G. B.; TAYLOR, J. E.; TUCKER, G. A. **Biochemistry of fruit ripening**. Cambridge: Chapman and Hall, 1993. p. 255-271.

LIZADA, L. A.; OCHAGAVIA, A. Controlled atmosphere storage of mango fruits (*Mangifera indica* L.) cvs Tommy Atkins and Kent. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 455, p. 732-737, 1997.

LIZADA, L. A.; OCHAGAVIA, A. Controlled atmosphere storage of mango fruits (*Mangifera indica* L) cvs Tommy Atkins and Kent. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 455, p. 732-737, 1997.

LIZADA, M. C. C.; BIGLETE-FLOR, N. A.; GARCIA, N. L. The response of the 'Carabao' mango to controlled atmosphere. In: INTERNATIONAL POSTHARVEST SYMPOSIUM, 5., 2004, Verona. **Abstracts** ... Verona: Sistema Congressi s.r.l., 2004. p. 5.

LÓPEZ-MORA, L. I.; GUTIÉRREZ-MARTÍNEZ, P.; BAUTISTA-BAÑOS, S.; JIMÉNEZ-GARCÍA, L. F.; ZAVALA-MANCERA, H. A. Evaluation of antifungal activity of chitosan in *Alternaria alternata* and in the quality of 'Tommy atkins' mango during storage. **Revista Chapingo**, México, v. 19, p. 315-331, 2013. (Série Horticultura).

LUCENA, E. M. P. **Desenvolvimento e maturidade fisiológica de manga 'Tommy Atkins' no vale do São Francisco**. 2006. 152 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

LUZ, E. R. **Predição de propriedades de gasolinas usando espectroscopia FTIR e regressão por mínimos quadrados parciais**. 2003. 109 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Departamento de Química, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

LYONS, J. M. Chilling injury in plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Rockville, v. 24, p. 445-466, 1973.

MA, S. S.; CHEN, P. M. Storage disorder and ripening behavior of 'Doyenne du Comice' pears in relation to storage conditions. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 28, p. 281-294, 2003.

MAHAYOTHEE, B.; LEITENBERGER, M.; NEIDHART, S.; MÜHLBAUER, W.; CARLE, R. Nondestructive determination of maturity of Thai mangoes by near-infrared spectroscopy. Proceedings of the VII international mango symposium. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 645, p. 581-588, 2004.

MAHAYOTHEE, B.; LEITENBERGER, M.; NEIDHART, S.; MÜHLBAUER, W.; CARLE, R. Nondestructive determination of maturity of Thai mangoes by near-infrared spectroscopy. Proceedings of the VII international mango symposium. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 645, p. 581-588, 2004.

MAKANI, O. A. **Mango quality survey and sensory evaluation of mango (*Mangifera indica* L.) cultivars**. 2013. 49 f. Thesis - University of Queensland, Gatton, 2013.

MALUNDO, T. M. M.; SHEWFELT, R. L.; WARE, G. O.; BALDWIN, E. A. Sugars and acids influence flavor properties of mango (*Mangifera indica*). **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 126, p. 115-121, 2001.

MANGRICH, M. E.; SALTVEIT, M. E. Heat shocks reduce chilling sensitivity of cotton, kenaf, okra, and rice seedling radicles. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 125, n. 3, p. 377-382, 2000.

MANICA, I. Colheita, classificação, embalagem, transporte, armazenamento, amadurecimento. In: MANICA, I. (Ed.). **Manga: tecnologia, produção, pós-colheita, agroindústria e exportação**. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2001. p. 435-541.

MANRIQUE, G. D.; LAJOLO, F. M. Cell-wall polysaccharide modifications during postharvest ripening of papaya fruit (*Carica papaya*). **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 33, n. 1, p.11-26, 2004.

MARQUES, E. J. N.; DE FREITAS, S. T.; PIMENTEL, M. F.; PASQUINI, C. Rapid and non-destructive determination of quality parameters in the 'Tommy Atkins' mango using a novel handheld near infrared spectrometer. **Food Chemistry**, Great Britain, v. 197, p. 1207-1214, 2016.

MARQUES, E. J. N.; FREITAS, S. T.; NETO, A. F.; CAVALCANTE, I. H. L. Espectroscopia na região do infravermelho próximo (NIR): técnica analítica não destrutiva para determinação da qualidade de manga. In: NETO, A. F.; ALMEIDA, F. A. C.; CAVALCANTE, I. H. L. (Org.). **Manga: maturação, colheita e conservação**. Juazeiro, BA: UNIVASF, 2017. v. 1, p. 60-87.

MARTENS, H. **Multivariate calibration**: quantitative interpretation of non-selective chemical data. 1985. 415 f. Thesis (Doctor in Technology) - Norwegian Institute of Technology, Trondheim.

MARTENS, H.; NAES, T. **Multivariate calibration**. New York: John Wiley & Sons, 1996. 438 p.

MASSART, D. L.; VANDEGINSTE, B. G. M.; BUYDENS, L. M. C.; JONG, S.; LEWI, P. J.; SMEYERS-VERBEKE, J. **Handbook of Chemometrics and Qualimetrics**. Amsterdam: Elsevier Publ., 1998. Part. B.

McGUIRE, R. G. Reporting of objective color measurements. **HortScience**, Alexandria, v. 27, p. 1254-1555, 1992.

McLAUCHAN, R. L.; BARKER, L. R. Controlled atmospheres for Kensington mango storage: classical atmospheres. In: JOHNSON, G. I.; HIGHLEY, E. (Ed.). **Development of postharvest handling technology for tropical tree fruits: a workshop held in Bangkok, Thailand, 16-18 July 1992**. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 1992. p. 41-44. Disponível em: <<https://www.aciar.gov.au/node/8026>>. Acesso em: 24 out. 2018.

MEDLICOTT, A. P.; REYNALDS, S. B.; NEW, S. W.; THOMPSON, A. K. Harvest maturity effects on mango fruit ripening. **Tropical Agriculture**, Trinidad, v. 65, n. 2, p. 153-157, 1988.

MEDLICOTT, A. P.; REYNOLDS, S. P.; THOMPSON, A. K. Effects of temperature on the ripening of mango fruit (*Mangifera indica* L. var. Tommy Atkins). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Oxford, v. 37, n. 5, p. 469-474, 1986.

MILTRA, S. K.; BALDWIN, E. A. Mango. In: MILTRA, S. K. (Ed.). **Postharvest physiology and storage of tropical and subtropical fruit**. Wallingford: CAB International, 1997.

MIRANDA, M. E. J.; GONZALEZ, P. P. Características, producción y utilización de pectinas. **Alimentación, Equipos y Tecnología**, Madrid, v. 12, n. 9, p. 61-66, 1993.

MITCHAM, E. J.; McDONALD, R. E. Cell wall modification during ripening of 'Keitt' and 'Tommy Atkins' mango fruit. **Journal American Society Horticultural Science**, Alexandria, v. 117, n. 6, p. 919-924, 1992.

MIZRACH, A. Determination of avocado and mango fruit properties by ultrasonic technique. **Ultrasonics**, Amsterdam, v. 38, p. 717-722, 2000.

MODESTO, J. H.; LEONEL, S.; SEGANTINI, D. M.; SOUZA, J. M. A.; FERRAZ, R. A. Qualitative attributes of some mango cultivars fruits. **Australian Journal of Crop Science**, Australia, v. 10, n. 4, p. 565-570, 2016.

MORAES, P. L. D.; FILGUEIRAS, H. A. C.; PINHO, J. L. N.; ALVES, R. E. Ponto de colheita ideal de mangas 'Tommy Atkins' destinadas ao mercado europeu. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 671-675, 2002.

MORAIS, P. L. D.; FILGUEIRAS, H. A. C.; PINHO, J. L. N.; ALVES, R. E. Ponto de colheita ideal de mangas 'Tommy Atkins' destinadas ao mercado europeu. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 671-675, 2003.

MORAIS, P. L. D. **Maturidade para colheita e vida útil da manga 'Tommy Atkins' para o mercado europeu**. 2001. 83 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2001.

MORAIS, P. L. D.; FILGUEIRAS, H. A. C.; PINHO, J. L. N.; ALVES, R. E. Correlação entre variáveis de crescimento do fruto da mangueira 'Tommy Atkins'. **Ciências Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 4, p. 743-747, 2004.

MORGANO, M. A. **Aplicação de métodos quimiométricos em análise de alimentos**. 2005. 110 f. Tese (Doutorado em Química) - Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

MORGENSTERN, T. B.; CUNHA JÚNIOR, L. C.; MARIANI, N. C. T.; NARDINI, V.; TEIXEIRA, G. H. A. Discrimination between *Myrciaria jaboticaba* ('Sabará') and

Myrciaria cauliflora ('Açú') fruit using CIE colour parameters and near-infrared spectroscopy. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 1119, p. 259-264, 2016.

MOTA, R. V.; LAJOLO, F. M.; CORDENUNSI, B. R. Composição em carboidratos de alguns cultivares de banana (*Musa* spp) durante o amadurecimento. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 17, n. 2, p. 94-97, 1997.

NAES, T.; ISAKSSON, T.; FEARN, T.; DAVIES, T. A. **User-friendly guide to multivariate calibration and classification**. Chichester: NIR Publications, 2002. 344 p.

NAIR, S.; SINGH, Z. Chilling injury during storage affects respiration rate and fruit quality in Kensington Pride mango fruit. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 820, p. 737-743, 2009.

NAKASONE, H. K.; PAULL, R.E. **Tropical fruits**. Wallingford: CAB International, 1998. p. 132-148.

NASSUR, R. C. M. R.; DE FREITAS, CRISOSTO, G.; FREITAS, S. T.; VILA BOAS, V. B.; LIMA, L. C. O. Dry matter as a quality index for brazilian mangoes. In: IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PÓS COLHEITA DE FRUTAS, HORTALIÇAS E FLORES, 4., VII ENCONTRO NACIONAL SOBRE PROCESSAMENTO MÍNIMO DE FRUTAS E HORTALIÇAS, 7., 2013, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto, da Universidade de São Paulo, 2013.

BRECHT, J. K. **Manual de práticas para o melhor manejo pós-colheita da manga**. Gainesville: National Mango Board, 2011. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/ruralbr/manual-de-prticas-para-o-melhor-manejo-pscolheita-da-manga>>. Acesso em: 19 mar. 2018.

NICOLAÏ, B. M.; BEULLENS, K.; BOBELYN, E.; PEIRS, A.; SAEYS, W.; THERON, K. I.; LAMMERTYNA, J. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 46, n. 2, p. 99-118, 2007.

NISHIBA, I.; MURATA, N. Chilling sensitivity in plants and cyanobacteria: The crucial contribution of membrane lipids. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Rockville, v. 47, p. 541-568, 1996.

NOFERINI, M.; FIORI, G.; COSTA, G. Un nuovo índice di maturazione per stabilire la raccolta Ed orientare il consumatore verso la qualità. **Revista Frutticoltura**, Milan, n.7/8, p. 30-37, 2009b.

NOFERINI, M.; FIORI, G.; FARNETI, B.; COSTA, G. **Impiego di un índice non distruttivo per determinare la corretta época di raccolta del frutto di actinidia chinensis**. Cesena: MACFRUT, 2009a.

NORDEY, T.; JOAS, J.; DAVRIEUX, F.; CHILLET, M.; LÉCHAUDEL, M. Robust NIRS models for non-destructive prediction of mango internal quality. **Science Horticulturae**, Amsterdam, v. 216, n. 14, p. 51-57, 2017.

NUNES, M. C. N.; EMOND, J. P.; BRECHT, J. K.; DEA, S.; PROULX, E. Quality curves for mango fruit (cv. Tommy Atkins and Palmer) stored at chilling and nonchilling temperatures. **Journal of Food Quality**, Connecticut, v. 30, p. 104-120, 2007.

O'HARE, T.J.; PRASSAD, A. The effect of temperature and carbon dioxide on chilling symptoms in mango. **Acta Horticulturae**, Leuven, n. 343, p. 244-250, 1993.

OTTO, M. **Chemometrics**: statistics and computer application in analytical chemistry. Weinheim: Wiley, 1999, 343 p.

PADDA, M. S.; AMARANTE, C. V. T.; GARCIA, R. M.; SLAUGHTER, D. C.; MITCHAM, E. J. Methods to analyze physico-chemical changes during mango ripening: A multivariate approach. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, 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**, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 198-219, 2003.

PATHARE, P. B.; OPARA, U. L.; AL-SAID, F. A. Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, p. 36-60, 2013.

PAULL, R. E.; DUARTE, O. Introduction. In: PAULL, R. E.; DUARTE, O.; editors. **Tropical fruits**. 2. ed. London, UK: CAB International, 2011. p. 1-10.

PERALTA-ZAMORA, P.; CORNEJO-PONCE, L. C.; NAGATA, N.; POPPI, R. J. Alternativas quimiométricas para a resolução de problemas analíticos clássicos. Determinação espectrofotométrica de misturas de zircônio e háfnio. **Química Nova**, São Paulo, v. 20, p. 469-474, 1997.

PEREZ, A. A. **Segmentação e quantificação de tecidos em imagens coloridas de úlceras de perna**. 2001. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2001.

PERONI, F. H. G. A.; KOIKE, C.; LOURO, R. P.; PURGATTO, E.; NASCIMENTO, J. R. O.; LAJOLO, F. M.; CORDENUNSI, B. R. Mango starch degradation. II. The binding of α -amylase and β -amylase to the starch granule. **Journal Agricultural Food Chemistry**, Washington, DC, v. 56, n. 16, p. 7416-7421, 2008.

PESIS, E.; AHARONI, D.; AHARON, Z.; BEN-ARIE, R.; AHARONI, N.; FUCHS, Y. Modified atmosphere and modified humidity packaging alleviates chilling injury

symptoms in mango fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 19, n. 1, p. 93-101, 2000.

PRADO, R. M. Nutrição e desordens fisiológicas na cultura da manga. In: ROZANE, D. E.; DAREZZO, R. J.; AGUIAR, R. L.; AGUILERA, G. H. A.; ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Manga: produção integrada, industrialização e comercialização**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2004. p.199-232.

RUNGPICHAYAPICHET, P.; MAHAYOTHEE, B.; NAGLE, M.; KHUWIJITJARU, P.; MÜLLER, J. Robust NIRS models for non-destructive prediction of postharvest fruit ripeness and quality in mango. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 111, p. 31-40, 2016.

SALA, O. **Fundamentos da espectroscopia raman e no infravermelho**. 2. ed. São Paulo: Editora UNESP, 2008.

SANTOS NETO, J. P.; ASSIS, M. W. D.; CASAGRANDE, I. P.; LEITE, G. W. P.; CUNHA JÚNIOR, L. C.; TEIXEIRA, G. H. A. Avaliação da qualidade de mangas 'Palmer'. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PROCESSAMENTO MÍNIMO E PÓS-COLHEITA DE FRUTAS, FLORES E HORTALIÇAS, 02., 2017, Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa: UEPG, 2017.

SANTOS, D. B.; PEREIRA, M. E. C.; VIEIRA, E. L.; LIMA, M. A. C. Caracterização físico-química dos estádios de maturação da manga 'Tommy Atkins' produzida no município de Iaçu-BA. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 20, p. 342-348, 2008.

SANTOS, L. O. **Armazenamento refrigerado, atmosfera controlada e desverdecimento de tangerinas**. 2011. 143 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2011.

SARANWONG, S.; SORNSRIVICHAI, J.; KAWANO, S. Improvement of PLS calibration for Brix value and dry matter of mango using information from MLR calibration. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, London, v. 9, n. 4, p. 287-295, 2001.

SARANWONG, S.; SORNSRIVICHAI, J.; KAWANO, S. On-tree evaluation of harvesting quality of mango fruit using a hand-held NIR instrument. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, London, v. 11, n. 4, p. 283-293, 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**, Amsterdam, v. 31, p. 137-145, 2004.

SCHMILOVITCH, Z.; MIZRACH, A.; HOFFMAN, A.; EGOZI, A.; FUCHS, Y. Determination of mango physiological indices by near-infrared spectrometry. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 19, n. 3, p. 245-252, 2000.

SERPA, M. F. P.; CASTRICINI, A.; MITSUBUZI, G. P.; MARTINS, R. N.; BATISTA, M. F.; ALMEIDA, T. H. Conservação de manga com uso de fécula de mandioca preparada com extrato de cravo e canela. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 61, n. 6, p. 975-982, 2014.

SHARMA, G.; BALA, R. **Digital color imaging handbook**. Boca Raton: CRC Press, 2014. p. 2-47.

SHARPLES, R. O.; KIDD, F.; WEST, C. The gas storage of fruit II. Optimum storage temperatures and atmospheres. In: JANICK, J. (Ed.). **Classical papers in horticultural science**. New Jersey: Prentice Hall, 1989, p. 213-219.

SHEWFELT, R. L.; THAI, C. M.; DAVIS, J. W. Prediction of changes in color of tomatoes during ripening at different constant temperatures. **Journal Food Science**, Hoboken, v. 53, n. 5, p. 1433-1437, 1988.

SHMULEVICH, I.; GALILI, N.; HOWARTH, M. S. Nondestructive dynamic testing of apples for firmness evaluation. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 29, n. 3, p. 287-299, 2003.

SIGRIST, J. M. M. Tecnologia pós-colheita para comercialização de manga *in natura*. In: ROZANE, D. E. et al. (Ed.). **Manga: produção integrada, industrialização e comercialização**. Viçosa: UFV, 2004. p. 553-570.

SILVA, A. C.; SOUZA, A. P.; LEONEL, S.; SOUZA, M. E.; TANAKA, A. A. Caracterização e correlação física e química dos frutos de cultivares de mangueira em São Manuel, São Paulo. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 24, n. 1, p. 15-26, 2012.

SILVA, A. P. F. B. **Caracterização química e enzimática do processo de adoçamento da manga 'Keitt'**. 2004. 80 f. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

SILVA, A. P. F. B.; NASCIMENTO, J. R. O.; LAJOLO, F. M.; CORDENUNSI. Starch mobilization and sucralose accumulation in the pulp of Keitt mangoes during postharvest ripening. **Journal of Food Biochemistry**, Hoboken, v. 32, n. 3, p. 384-395, 2008.

SILVA, D. F. P. **Desenvolvimento e controle do amadurecimento da Manga 'Ubá'**. 2009. 107 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

SILVA, M. S.; MARTINS, L. P.; SANTOS, J. G.; ALVES, R. E. Conservação pós-colheita de frutos de graviola (*Annona muricata* L.) sob atmosfera modificada. **Revista Híberoamericana de Tecnología Postcosecha, Hermosillo**, Hermosillo, v. 4, n. 1, p. 6-12, 2001.

SIMÕES, S. S. **Desenvolvimento de métodos validados para a determinação de captopril usando espectrometria NIR e calibração multivariada**. 2008. 83 f. Tese (Doutorado em Química Analítica) –Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2008.

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

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; NIEMAN, T. A. **Princípios de análise instrumental**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 836 p.

SLAUGHTER, D. C. Nondestructive maturity assessment methods for mango: a review of literature and identification of future research needs. Orlando: National Mango Board, 2009. 18 p. Disponível em: <<https://hortintl.cals.ncsu.edu/articles/nondestructive-maturity-assessment-methods-mango-review-literature-and-identification-futur>>. Acesso em: 25 nov. 2018.

SMOLA, A. J.; SCHÖLKOPF, B. A tutorial on support vector regression. **Statistics and Computing**, Netherlands, v. 14, n. 3, p. 199-222, 2004.

SMOLA, A. J.; SCHÖLKOPF, B. A tutorial on support vector regression. **Statistics and Computing**, New York, v. 14, p. 199-222, 2004.

SOARES, A. F. Manga. **Hortifruti Brasil**, Piracicaba, v. 10, n. 109, p. 32, 2012. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/hfbrasil/edicoes/109/full.pdf>> Acesso em: 19 abril 2018.

SUBEDI, P. P.; WALSH, K. B. Assessment of sugar and starch in intact banana and mango fruit by SWNIRS spectroscopy. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 62, n. 3, p. 238-245, 2011.

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**, Amsterdam, v. 43, n. 3, p. 326-334, 2007.

TANDON, D. K.; KALRA, S. K. Changes in sugars, starch and amylases activity during development of mango fruit cv. Dashehari. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, Oxford, v. 58, n. 3, p. 449-453, 1983.

TANDON, D. K.; KALRA, S. K.; SINGH, B. P. Ripening pattern of specific gravity graded Dashehari mangoes. **Indian Journal of Horticulture**, New Delhi, v. 45, n. 3-4, p. 219-224, 1988.

TEIXEIRA, G. H. A.; SANTOS, L. O.; CUNHA JÚNIOR, L. C.; DURIGAN, J. F. Increasing levels of carbon dioxide (CO₂) associated with low-oxygen (O₂) do not affect the quality of 'Palmer' mangoes during controlled atmosphere storage. **Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 55, n. 1, p. 145-156, 2018.

TEIXEIRA, G. H. A.; DURIGAN, J. F. Storage of 'Palmer' mangoes in low-oxygen atmospheres. **Fruits**, Paris, v. 66, n. 4, p. 279-289, 2011.

TENENHAUS, M.; VINZI, V. E.; CHATELIN, Y.; LAURO, C. PLS Path Modeling. **Computational Statistics and Data Analysis**, Amsterdam, v. 48, n. 1, p. 159-205, 2005.

TEÓFILO, R. F. **Métodos quimiométricos**: uma visão geral, conceitos básicos de quimiometria. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2013. v. 1.

THANGARAJ, T.; IRULAPPAN, I. Studies on the maturity standards for mango fruit. **South Indian Horticulture**, New Delhi, v. 37, p. 341, 1989.

THISSEN, U.; USTUN, B.; MELSEN, W. J.; BUYDENS, L. M. C. Multivariate calibration with Least-squares support vector machine. **Analytical Chemistry**, Washington, DC, v. 76, n. 11, p. 3099-3105, 2004.

TITOVA, T. P.; NACHEV, V. G.; DAMYANOV, C.I. Food quality evaluation according to their color characteristics. **Facta Universitatis Series: Automatic Control and Robotics**, v. 14, n. 1, p. 1-10, Nis, República da Sérvia, 2015.

TRINIDAD, M.; BÓSCUEZ, E.; ESCALONA, H.; DÍAS DE LEÓN, F.; PÉREZ FLORES, L.; KERBEL, C.; PONCE DE LEÓN, L.; MUÑOZ, C.; PÉREZ, L.; Controlled atmosphere (5% CO₂ - 5% O₂ and 10% CO₂ - 5% O₂) do not significantly increase the shelf life of refrigerated Kent Mangoes. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 455, p. 643-653, 1997.

TSUJIKAWA, K.; KUWAYAMA, K.; MIYAGUCHI, H.; KANAMORI, T.; IWATA, Y. T.; YOSHIDA, T.; INOUE, H. Development of an on-site screening system for amphetamine-type stimulant tablets with a portable attenuated total reflection Fourier transform infrared spectrometer. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 608, n. 1, p. 95-103, 2008.

TSUJIKAWA, K.; YAMAMURO, T.; KUWAYAMA, K.; KANAMORI, T.; IWATA, Y.; MIYAMOTO, K.; KASUYA, F.; INOUE, H. Application of a portable near infrared spectrometer for presumptive identification of psychoactive drugs. **Forensic Science International**, Shannon, v. 242, p. 162-171, 2014.

UEDA, M.; SASAKI, K.; UTSUNOMIYA, N.; INABA, K.; SHIMABAYASHI, Y. Changes in physical and chemical properties during maturation of mango fruit (*Mangifera indica* L. 'Irwin') cultured in a plastic greenhouse. **Food Science and Technology Research**, Southampton, v. 6, n. 4, p. 299-305, 2000.

URBAN, L.; LE ROUX, X.; SINOQUET, H.; JAFFUEL, S.; JANNOYER, M. A biochemical model of photosynthesis for mango leaves: evidence for the effect of fruit on photosynthetic capacity of nearby leaves. **Tree Physiology**, Oxford, v. 23, n. 5, p. 289-300, 2003.

VALDEZ-FRAGOSO, A.; MÚJICA-PAZ, H. **Controlled atmosphere storage: effect on fruit and vegetables**. In: CABALLERO, B.; FINGLAS, P. M.; TOLDRA, F. (Ed.). Kidlington, Oxford; Waltham, MA: Academic Press is an imprint of Elsevier, 2016.

VALENTE, M.; LEARDI, R.; SELF, G.; LUCIANO, G.; PAIN, J. P. Multivariate calibration of mango firmness using VIS/NIRS spectroscopy and acoustic impulse method. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 94, n. 1, p. 7-13, 2009.

VAPNIK, V. N. **The nature of Statistical learning theory**. New York: Springer Verlag, 1995.

VASQUEZ-SALINAS, C.; LAKSHMINARAYANA, S. Compositional changes in mango fruit during ripening at different storage temperatures. **Journal of Food Science**, Washington, v. 50, n. 6, p. 1646-1648, 1985.

VIEIRA, E. L.; PEREIRA, M. E. C; SANTOS, D. B.; LIMA, M. A. C. 2010. Aplicação de biofilmes na qualidade da manga 'Tommy atkins'. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 21, n. 3, p. 165-170, 2009.

VÍTEK, P.; ALI, E. M. A.; EDWARDS, H. G. M.; JEHLIČKA, J.; COX, R.; PAGE, K. Evaluation of portable Raman spectrometer with 1064 nm excitation for geological and forensic applications. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular**, Oxford, v. 86, p. 320-327, 2012.

WALSH, K. B.; SUBEDI, P. P. In-field monitoring of mango fruit dry matter for maturity estimation. Proc. Int. Symposia on Abscission Processes in Horticulture and Non-Destructive Assessment of Fruit Attributes. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 1119, p. 273-278, 2016.

WANG, C. Y. Chilling injury of tropical horticultural commodities. **HortScience**, Alexandria, v. 29, n. 9, p. 986-988, 1994.

WANG, H.; PENG, J.; XIE, C.; BAO, Y.; HE, Y. Fruit quality evaluation using spectroscopy technology: a review. **Sensors**, Basel, v. 15, n. 5, p.11889-11927, 2015.

WANG, Y. S.; TIAN, S. P.; XU, Y. Effects of high oxygen concentration on pro- and anti- oxidant enzymes in peach fruits during postharvest periods. **Food Chemistry**, Great Britain, v. 91, n. 1, p. 99-104, 2005.

WATANAWAN, C.; WASUSRI, T.; SRILAONG, V.; WONGS-AREE, C.; KANLAYANARAT, S. Near infrared spectroscopic evaluation of fruit maturity and quality of export Thai mango (*Mangifera indica* L. var. Namdokmai). **International Food Research Journal**, Selangor, v. 21, n. 3, p.1073, 2014.

WEBER, A.; BRACKMANN, A.; ANESE, R. O.; BOTH, V.; PAVANELLO, E. Atmosfera controlada para o armazenamento da maçã 'Maxi Gala'. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 2, p. 294-301, 2013.

WHILEY, A. W.; HOFMAN, P. J.; CHRISTIANSEN, H.; MARQUES, R.; STUBBINGS, B.; WHILEY, D. G. **Development of pre and postharvest protocols for production of Calypso mango**. Sydney: Horticultural Australia, 2006. 157 p.

WILLIAMS P. **Near-Infrared Technology – Getting the Best out of Light**. 2. ed. Canada: Value Added Wheat, 2003.

WILLIAMS, P.; NORRIS, K. H. Variable affecting near infrared spectroscopic analysis. In: WILLIAMS, P.; NORRIS, K. H. (Ed.). **Near infrared technology in the agriculture and food industries**. 2. ed. St. Paul: The American Association of Cereal Chemists, 2001. p. 171-185.

WILLS, R. H. H.; LEE, T. H.; GRAHAM, D.; McGLASSON, W. B.; HALL, E. G. **Postharvest**. Westport: AVI, 1981. 163 p.

WOLD, H. The basic design and some extensions. In: JORESOG, K. G.; WOLD, H. O. A. (Ed.). **Systems under indirect observation**. North-Holland: Amsterdam, 1982. v. 2, p. 1-53.

WOLD, S.; SJOSTROM, M.; ERIKSSON, L. PLS-regression: a basic tool of chemometrics. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, Amsterdam, v. 58, n. 2, p. 109-130, 2001.

WORKMAN, J. J.; MOBILEY, P. R.; KOWALSKI, B. R.; BRO, R. Review of chemometrics applied to spectroscopy 1985-95.2. **Applied Spectroscopy Reviews**, New York, v. 31, n. 1-2, p. 347-368, 1996.

WYSZECKI, G. **Color Science**: concepts and methods quantitative data and formulae. New York: Wiley, 1982. 84 p.

XIAOBO, Z.; JIEWEN, Z.; POVEY, M. J. W.; HOLMES, M.; HANPIN, M. Variables selection methods in near-infrared spectroscopy. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 667, n. 1-2, p. 14-32, 2010.

CAPÍTULO 2 – Determination of ‘Palmer’ mango maturity indices using portable near infrared (VIS-NIR) spectrometer¹

Abstract

‘Palmer’ mango cultivar is a late season variety which is greatly accepted by European consumers. However, it is common to get reports of fruit quality problems, mainly due to maturity. Thus, the objective of this study was to develop calibration models for soluble solids content (SSC) and dry matter (DM) of ‘Palmer’ mangoes using portable (VIS-NIR) spectrometer. Interactance spectra were obtained with a portable F-750 spectrometer in the wavelength range of 306-1140 nm, 8 nm spectrum resolution, and 4 scans averaged per spectra. Spectra were used to develop SSC and DM models using partial least square regression (PLSR) with full cross validation. The best SSC calibration model was developed using spectra pre-processed with standard normal variate (SNV), first derivative of Savitzk-Golay and window of 699-999 nm. It was observed a RMSE_{CV} of 1.39%, with a R²_{CV} of 0.87, and RPD of 2.77. Better results were observed for the DM calibration model which was built with raw spectra using the window of 699-981 nm (RMSE_{CV} of 8.81 g.kg⁻¹, R²_{CV} of 0.84, and RPD of 2.51). Poor calibration models were obtained for firmness. The results indicated that portable VIS-NIR spectrometer can be used as a non-destructive technique to assess SSC and DM content for ‘Palmer’ mangoes. It is necessary to incorporate more sources of variation, to reduce RMSE values and improve robustness, especially for fruit SSC and DM prediction.

Keywords: *Mangifera indica* L., chemometrics, PLSR, SSC, DM, SWNIRS.

1. Introduction

Mango maturity is determinant for consumer’s acceptance as less mature fruit have low soluble solids content (SSC) which affect fruit quality specially flavor (Jhan

¹ SANTOS NETO, J.P.; ASSIS, M. W. D. ; CASAGRANDE, I. P. ; CUNHA JUNIOR, L. C. ; TEIXEIRA, G. H. A. . Determination of ‘Palmer’ mango maturity indices using portable near infrared (VIS-NIR) spectrometer. POSTHARVEST BIOLOGY AND TECHNOLOGY, v. 130, p. 75, 2017.

et al., 2007). In the United States of America (USA) market it was observed that 'Tommy Atkins' mangoes with more SSC ($>13.5\%$) reached 80% acceptance. On the other hand, mangoes with SSC ranging from 9.5 to 12.6% the acceptance were inferior then 80% (Makani, 2009). Therefore, an accurate method for mango maturity determination is imperative for fruit quality.

Mango is a climacteric fruit and it is usually harvested at the hard green stage at the end of its development when fruit are physiologically mature (Bleinroth, 1994). According to Kader et al. (2002), mangoes which will be consumed by nearby markets might exhibit color changes from dark green to light green or even to light yellow. On the other hand, mangoes which will be consumed by distant markets requiring several days of transport are harvest still dark green. Mature hard green mangoes reach superior eating quality when ripe while immature fruit does not (Medlicott et al., 1988).

Various maturity indexes have been suggested for harvesting mangoes. However due to the differences among mango types (monoembryonic and polyembryonic), varieties, production, conditions, and locations, there is no consensus on maturity indices (Mitra and Baldwin, 1997; Yahia, 2011). Paull and Duarte (2011) reported that mango maturity is determined by using criteria such as change in color, fullness of cheeks and hardened endocarp with the indication that the most reliable indicator is when the endocarp has hardened and there is a yellowing of the flesh near the seed, however, this is a destructive test. Other physical parameters include shape, size, lenticels, shoulder growth, pit around pedicel, and specific gravity (Popenoe and Long, 1957; Krishnamurthy and Subramanyam, 1970; Ketsa et al., 1991). Chemical parameters include SSC, acidity, and carbohydrate (starch) content have also been used (Soule and Harding, 1956; Popenoe and Long, 1957; Popenoe et al., 1958; Thanaraj et al., 2009; Yahia, 2011)

Due to the subjective aspects of physical maturity indices (shape, size, lenticels, shoulder growth, pit around pedicel), the inconsistency of specific gravity for some mango varieties (Tandon and Kalra, 1986), and the destructive nature of chemical parameters (Subedi et al., 2007; Paull and Duarte, 2011), non-destructive methods have been suggested as a means to determine maturity in mango fruit and near infrared (NIR) spectroscopy is one of those (Abbott, 1999).

Bench top and/or on-line NIR spectrometers have been used to determine SSC, dry matter content (DM), titratable acidity (TA), pulp firmness, starch content, and other physical-chemical parameters in mango fruit (Jha et al., 2014; Jha et al., 2012; Betemps et al., 2011; Subedi and Walsh, 2011; Valente et al., 2009; Delwiche et al., 2008; Subedi et al., 2007; Mahayothee et al., 2004; Saranwong et al., 2004; Saranwong et al., 2001; Schmilovitch et al., 2000; Guthrie and Walsh, 1997). However, the evaluation of mango maturity in the packing house might result in postharvest losses as the fruit which do not fulfill the quality standards are discarded.

To solve this problem portable NIR spectrometers have been used to evaluate mango maturity in field as just the fruit in the required maturity stage will be harvested. Maturity index (I_m) calculated as SSC times dry matter (DM) divided by titratable acidity (TA) was assessed in seven mango varieties (Chausa, Langra, Kesar, Neelam, Dasher, Mallika, and Maldah) using a portable Luminar 5030 NIR by Jha et al. (2014). Rungpichayapichet et al. (2016) studying the maturity and postharvest quality of 'Nam Dokmai' and 'Si Thong' mangoes reported a standard error of prediction (SEP) for SSC of 1.2% and a correlation coefficient (R^2) of 0.90; a $R^2 = 0.82$, SEP = 4.22 N for firmness; $R^2 = 0.74$, SEP = 0.38% for TA; and $R^2 = 0.80$, SEP = 0.80 for ripening index. Marques et al. (2016) using a portable MicroNIR 1700 reported a root mean square error of prediction (RMSEP) of 0.92 °Brix, 0.51%, 0.17%, and 12.2 N for SSC, DM, TA, and firmness, respectively. More recently, Walsh and Subedi (2016) developed models for in field DM content estimation with R^2 of 0.94 and root mean square error of cross validation (RMSECV) of 0.68%.

Although results can be found regarding portable NIR spectroscopy to estimate maturity in mango fruit, there is no standard maturity indices for mangoes, mainly due to the diversity of cultivars and growing conditions, therefore it is essential to develop them for a particular cultivar, growing region and for local or export markets (Yahia, 2011). As there is no information related to 'Palmer' mango which is an American (monoembryonic) late season variety largely exported from Brazil to distant markets in Europe and elsewhere, the objective of this study was to develop calibration models for SSC and DM of 'Palmer' mango during fruit development using portable VIS-NIR spectrometer.

2. Material and Methods

2.1. Fruit material

The experiment was set on a commercial orchard located at Cândido Rodrigues (21°19'21" latitude South, 48°38'2" longitude West, 671 m altitude), São Paulo State, Brazil. A total of 300 panicles were marketed with colored wool when 'Palmer' mango (*Mangifera indica* L.) trees were in full bloom. A total of 149 fruits were harvested during their development, as such: *i.* 91 days after bloom (DAB) (n=25), *ii.* 98 DAB (n=30), *iii.* 105 DAB (n=30), *iv.* 112 DAB (n=28), *v.* 119 DAB (n=25), and *vi.* 126 DAB (n=11). The stated harvests occurred when the degree-day (DD) accumulated 1434.0, 1539.9, 1634.1, 1741.2, 1854.6, and 1970.1°C, respectively. It is worth note that Souza (2007) reported that 'Palmer' mangoes need 119 days after bloom to maturity (1.962.7 DD).

The calibration models were developed using the dataset from the six harvests (136 fruit) from 2016 season (Table 1).

2.2. Spectra acquisition

From the 149 fruits two spectra (n=2) were collected from both sides of each fruit (n=298 spectra), on the equatorial region, equidistant from proximal and distal ends according to the methodology described by Subedi et al. (2007), Figure 1. A portable F-750 (Felix Instruments, Washington, USA) equipped with a Carl Zeiss MMS-1 near infrared spectrometer was used to collected the spectra on the wavelength range of 310 to 1,100 nm, using interactance as optic configuration and a resolution of 8-13 nm. The light source was a halogen lamp.

2.3 Reference analyses

2.3.1. Soluble solids content (SSC)

The portion A (Figure 1) where the VIS-NIR spectra were collected for SSC estimation was used to analyze the soluble solids content (SSC) according to the reference method 920.151 reported by A.O.A.C. (1997). It was used a refractometer (Alpha, Atago Co., Ltd., Japan), and the measurements were carried out in duplicate with the results expressed in percentage (%).

2.3.2. Dry matter (DM)

The dry matter content (DM) was determined by sampling a portion of 27 mm in diameter and with 10 mm of depth from the portion B (Figure 1), after removing the mango epidermis (1-2 mm thick) using a potato peeler. These portions were the same where the VIS-NIR spectra were previously collected for DM estimation. The DM content was measured by the weight loss after 48 hours of air forced dry in an oven set at 105°C (Subedi et al., 2007).

2.4. Chemometrics

The Unscrambler version 10.3 (Camo, Oslo, Norway) was used for data analysis. Spectra were pre-processed using standard normal variate (SNV), multiplicative scatter correction (MSC), de-trend, second polynomial order of the first (d^1A) and second derivative (d^2A) of Savitzky–Golay with smoothing window of ten points (5+5) and five points (2+2), respectively.

Calibration models were developed using the data set from 2016 harvest season (136 fruits – 272 spectra). The samples of all six harvests constituted the calibration set for SSC and DM (Table 1). An attempt was made to correlate VIS-NIR spectra with fruit firmness, but the results were poor which is consistent with previous study (Subedi and Walsh, 2009). Full cross validation was performed using 263 spectra and the calibration models were developed using a Partial Least Squares Regression (PLSR) and the performance was described by the statistical terms of coefficient of determination of cross validation (R_{CV}^2), the root mean square error of cross validation ($RMSE_{CV}$), and RPD (Golic and Walsh, 2006; Nicolai et al., 2007).

3. Results and discussion

3.1. Reference analysis: SSC and DM

The descriptive statistics can be observed in Table 1. The calibration set has an average SSC of 7.38% (Table 1). It was observed a rise in SSC from the 91 to 126 DAB with the highest content being observed at 126 DAB (17.9%), Figure 2. However, after 112 DAB the SSC started to increase indicating the onset of fruit ripening as SSC biosynthesis is related to storage carbohydrates metabolism (Chitarra and Chitarra, 2005). Therefore, SSC increased during maturation due to the accumulated starch hydrolyzes with formation of sugars (Mitra and Baldwin, 1997). It started to happen after 112 DAB, even though fruit had SSC lower than 10% which indicates mangoes at physiological maturity stage (Ribeiro, 2006; Assis, 2004).

For DM the calibration set has an average DM content of 154.8 g.kg⁻¹ (Table 1). It was observed a steadily increase in DM from 91 to 126 DAB (Figure 2). Significant differences ($p < 0.05$) were observed from the 105 DAB and the highest DM content was reported on 119 and 126 DAB (172 and 180 g.kg⁻¹ DM), Figure 2. The initial changes in DM content compared to 91 DAB happened earlier than SSC, 105 DAB and 112 DAB, respectively (Figure 2). This modification can indicate DM as a good maturity stage index which is in agreement with Subedi et al. (2007) that reported DM models being more robust in ripening mangoes, with conversion of starch to sugars, than SSC models.

In Australian mango industry the DM has been determined in field using portable NIR spectrometers (Walsh et al., 2004; Subedi et al., 2007) and a DM of 150 g.kg⁻¹ has been recommended as maturity index to harvest the fruit (AMIA, 2016; Walsh, 2016). By using this quality standard 'Palmer' mangoes should be harvested at 105 DAB. It is worth note that the grower from where the mangoes were harvested picketed the fruit at 91 DAB, which is 15 days less than the Australian recommendation (AUF, 1996; Bally et al., 2011), and 28 days less than what Souza (2007) reported that 'Palmer' mangoes need to be harvested (119 DAB). Therefore,

the less mature fruit (91 DAB) will not reach superior eating quality (Medlicott et al., 1988).

3.2. Spectra

The average raw spectra of each maturity stage obtained with a portable F-750 spectrometer can be seen in Figure 3. The first absorption bands correspond to the visible wavelength region (310 to 750 nm) which presented high absorptions on the violet (380-440 nm), green (500-565) and red (625-740 nm) spectral regions (Halliday et al., 2009). This trend reflects the 'Palmer' mango peel color which is characterized by a strong red color, but might also vary from yellow to green depending on maturity and exposure to light (Manica, 2001).

The visible wavelength region (310 to 750 nm) of the spectra was dominated by a large number of fruit showing high absorptions on the violet (380-440 nm) and green (500-565 nm) spectral regions. As the majority of the fruit were harvested in early maturity stages (91 to 112 DAB) in relation to more mature fruit (119 and 126 DAB), the chlorophyll content in immature 'Palmer' mangoes peel might have affected the visible part of the spectra (Figure 3). During mango maturation and ripening chloroplasts in the peel are transformed into chromoplasts containing red and yellow pigments (Lizada, 1996), and cultivars such as 'Palmer' also develop a reddish blush due to anthocyanins (Manica et al., 2001). The presence of reddish pigments is confirmed by the absorption on the red (625-740 nm) spectral region and correspond the more mature 'Palmer' mangoes.

The NIR spectra were obtained on the wavelength range of 750 to 1,131 nm (Figure 3), which is named short wavelength near infrared spectroscopy (SWNIR), Subedi et al. (2007). In this spectral region it was observed intense absorption bands on the range of 900 to 1,070 nm, which correspond to the water molecular vibrations as the absorptions bands from 1,000 and 1,400 nm are referred as the first and second water overtones (Xiaobo et al., 2010). The NIR spectra reflect the presence of water in abundance as the case of fresh 'Palmer' fruit that have 79.7% moisture (Taco, 2011). Other aspect that has to be state is the similarities among NIR spectra even with fruit from different maturity (Figure 3).

In the short wavelength near infrared region (750 to 1,131 nm) was observed a peak (920-1041) on the second OH overtone (960 nm) region (Xiaobo et al., 2010), which correspond to the water molecular vibrations basically caused by the mango moisture content. However, carbohydrate (starch and sugar) also are also related to water and sugar OH and CH stretching (third overtone stretch at 910 nm) bands (Golic et al., 2003). Fresh 'Palmer' mangoes have 79.7% moisture (Taco, 2011) and the presence of water dominate the NIR spectra (Figure 2) as previously observed in other mango varieties (Saranwong et al., 2004; Subedi and Walsh, 2009; Jha et al., 2014; Rungpichayapichet et al., 2016).

To perform the PLSR the spectra needed to be processed as noise was presented on the range of 312 to 360 nm, which was eliminated, and light scattering at the fruit surface was observed (Figure 3). In other to reduce the influence of light scattering and the base line drift various pre-processing were applied to the spectra (data not shown), and SNV and first derivative of Savitsky-Golay with five smoothing point (d^1A) were considered the best results.

3.3. *PLS prediction models*

3.3.1. *SSC*

Among all pre-treatments, the SNV and first derivative of Savitzky-Golay using the spectra window of 699-999 nm resulted in better SSC predictions with the calibration model being developed with 7 latent variables (LV), $RMSE_{cv}$ of 1.39% and a R^2_{cv} of 0.87, with a RPD of 2.77. The predicted SSC by full cross validation can be observed in Figure 4.

The $RMSE_{cv}$ value of 1.39% for SSC is in agreement to Nicolaï et al. (2007), who reported values of 1.0 to 1.5 °Brix as being consistent with studies that used external validation groups, with fruit coming from different orchards and periods of the year. According to Nicolaï et al. (2007), the RPD value of 2.77 allows good to excellent prediction as it is higher than 2.5.

Comparing the performance of the SSC prediction model with other studies, the $RMSE_{cv}$ value of 1.39% was quite similar to the SEP of 1.2% reported by

Rungpichayapichet et al. (2016) who studied 'Nam Dokmai' and 'Si Thong' mango varieties using a VIS/NIR spectrometer (HandySpec Campo 1000, tec5AG, Oberursel, Germany) on the range of 700 to 1,100 nm (SWNIR). On the other hand, lower SEP values were reported by Saranwong et al. (2003) using a 'FT20' spectrometer (Fantec, Japan) on ripe 'Carabao' mangoes (0.40%; $R^2_v = 0.96$; 850-1,000 nm, and 0.55%; $R^2_v = 0.88$; 900-1,000 nm) and by Marques et al. (2016) using a MicroNIR 1700 (VIAVI, Santa Rosa, CA, USA) on the wavelength range of 950 to 1,650 nm (RMSEP of 0.92 °Brix) for 'Tommy Atkins' mango.

More robust models were developed by Subedi et al. (2007) studying 'Kensington Pride', 'R2E2', 'Celebration', and 'Calypso' mango varieties from three different producing regions in Australia harvested at five maturity stages (immature to ripe). By using mature and immature mangoes these authors were able to build SSC calibration models that had good precision to predict external mango population ($R^2_v = 0.92$; SEP = 0.67% SSC).

Although SSC has been used as a quality parameter to evaluate mangoes, according to Subedi et al. (2007) the starch presented in the mesocarp is converted into soluble sugars during mango ripening and final eating quality is linked to SSC. However, the SWNIR spectroscopy is not recommended to assess SSC across ripening stage of mango fruit (Subedi and Walsh, 2011). Therefore, total carbohydrate content, as measured by DM, which encloses total starch and SSC of fruit at harvest and is linked to final mango eating quality. As such, DM PLS models were developed.

3.3.2. DM

The best prediction model was developed using raw spectra in a spectral window of 699 to 981 nm. The optimal number of factors to obtain 82% of explained variance was achieved with 10 LV and the best DM calibration model has a RMSE_{CV} of 8.81 g.kg⁻¹, R^2_{CV} of 0.84, with a RPD of 2.51. The observed and predicted DM content by full cross validation can be observed in Figure 5.

In agreement with Subedi et al. (2007) who reported that DM models are more robust in ripening fruit (with conversion of starch to sugar), the DM prediction models

were better than the SSC, mainly the RPD value which indicates excellent precision accuracy (Nicolai et al., 2007). This trend might be due to absorption of OH groups at 960-990 nm from fruit constituents (water, carbohydrates as starch and sugars) (Bobelyn et al., 2010) since moisture content tends to gradually decline during fruit maturation (Rungpichayapichet et al., 2016) as starch and DM accumulates (Tandon and Kalra, 1983).

DM prediction has long been determined by NIR spectroscopy (Guthrie and Walsh, 1997; Saranwong et al., 2001; Saranwong et al., 2003; Walsh et al., 2004; Saranwong et al., 2004) with $R^2_c > 0.9$ and $RMSE_{cv} < 1.19\%$, but using bench top spectrometers.

With portable NIR spectrometer Greensill and Walsh (2000) using a prototype 'iQ'. Integrated Spectronics (Sydney, Australia) obtained the first DM prediction model with a R^2_v of 0.74 and a SEP of 1% MS on the window 300-1,150 nm for 'Kensington Pride', 'R2E2', 'Celebration', and 'Calypso'. Walsh and Subedi (2016) using a Nirvana spectrometer in field reported a DM model performance of R_{cv} 0.94% and $RMSE_{cv}$ 0.68%. Lower $RMSEP$ values (0.67 and 0.51%) were observed by Marques et al. (2016) using a MicroNIR 1700 in 'Tommy Atkins' mango.

Although results related to DM prediction can be found using portable NIR spectrometers, as physiological maturity is indexed by a plateau in the rate of DM accumulation, rather than a specific DM level per se, attempts to set a specific percentage of DM maturity standard should be season, region, and cultivar specific (Subedi et al., 2007). Therefore, the DM calibration model for 'Palmer' mango is fundamental to determine the correct maturity for exporting mangoes for distant markets.

However, the use of NIR spectroscopy to evaluate quality parameters in intact fruit faces problems related to heterogeneity caused by variability within-tree, within-orchard, fruit age and seasonal variability (Peirs et al., 2002). As such, to reduce the RMSE value of the 'Palmer' mango predictive models and to improve robustness, it is necessary to incorporate more sources of variation, to broaden the range of the quality parameter values (Pasquini, 2003).

4. Conclusions

It was possible to develop calibration models for SSC and DM of 'Palmer' mango fruit using portable VIS-NIR spectrometer. Both PLS SSC and DM models can be used to predict 'Palmer' mango maturity. Poor calibration models were obtained for firmness. It is necessary to incorporate more sources of variation, to reduce RMSE values and improve robustness.

Acknowledgments

The authors would like to thank CAPES for providing the Doctorate fellowship to the first author, and Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) for funding this research (proc. 2015/03451-9) and providing the Doctorate fellowship (proc. 2015/25631-9). The authors also thank Tecnal equipamentos Científicos for lending the F-750 spectrometer.

References

- A.O.A.C., 1997. Association of Official Analytical Chemists: Official methods of analysis – met. 920.151.16., Cunniff, Washington., ed. Patricia.
- Abbott, J.A. 1999. Quality measurement of fruits and vegetables. Postharvest Biol. Technol. 15, 207-225.
- AMIA, 2016. 2016 Mango Industry Quality Standards. <http://www.industry.mangoes.net.au/resource-collection/2016/9/29/2016-mango-industry-quality-standards?rq=standard>
- Assis, J. S. Cultivo da mangueira: colheita e pós-colheita. Embrapa Semiárido, Sistemas de Produção, 2, 2004.
- Bally, I. S. E., Johnson, P. R. A., Kulkarni, V. J. 2000. Mango production in Australia. Acta Hortic. 509, 59-67.
- Bally, I.S.E., 2011. Advances in research and development of mango industry. Rev. Bras. Frutic. 33, 57-63.
- Betemps, D.L., Fachinello, J.C., Galarça, S.P. 2011. Espectroscopia do visível e infravermelho próximo (VIS/NIR) na avaliação da qualidade de mangas Tommy Atkins. Rev. Bras. Frutic. [online]. 33, 306-313.

- Bleinroth, E. W. Chapter 2. In: Neto, Á. G.; Gayet, J. P., Bleinroth, E. W.; Matallo, M.; Garcia, A. E.; Ardito, E. F. C.; Garcia, E. E. C.; Bordin, M. R. Manga para exportação: procedimentos de colheita e pós-colheita. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994, p. 11-28.
- Bobelyn, E., Serban, A. S., Nicu, M., Lammertyn, J., Nicolai, B. M., and Saeys, W. 2010. Postharvest quality of apple predicted by NIR-spectroscopy: Study of the effect of biological variability on spectra and model performance. *Postharvest Biol. Technol.* 55, 133-143.
- Chitarra, M.I.F.; Chitarra, A.B. Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio. 2.ed. rev. e ampl. Lavras: UFLA, 2005. 785p.
- Delwiche, S.R., Mekwatanakarn. W., Wang. C.Y., 2008. Soluble solids and simple sugars measurement in intact mango using near infrared spectroscopy. *J. Horttech.* 18, 410-416.
- Golic, M., Walsh, K.B. 2006. Robustness of calibration models based on near infrared spectroscopy for the in-line grading of stone fruit for total soluble solids content. *Anal. Chim. Acta.* 555, 286-291.
- Golic, M., Walsh, K.B., Lawson, P., 2003. Short-wavelength near-infrared spectra of sucrose, glucose, and fructose with respect to sugar concentration and temperature. *Appl. Spectrosc.* 57, 139-145.
- Greensill. C.V., Walsh. K.B. 2000. A remote acceptance probe and illumination configuration for spectral assessment of internal attributes of intact fruit. *Meas. Sci. Technol.* 11, 1674-1684.
- Guthrie, J.A., Walsh, K. B. 1997. Non-invasive assessment of pineapple and mango fruit quality using near infrared spectroscopy. *Aust. J. Exp. Agric.* 37, 253-263.
- Halliday, D., Resnick, R., Walker, J. Fundamentos da Física, Vol. 2, 8ª Edição, LTC, 2009.
- <http://www.industry.mangoes.net.au/resource-collection/2016/3/6/dry-matter-matters>
- Jha, S. N., Chopra, S., Kingsly, A. R. P., 2007. Modeling of colour values for nondestructive evaluation of maturity of mango. *J. Food Eng.* 78, 22-26.
- Jha, S. N., Jaiswal, P., Narsaiah, K., Gupta, M., Bhardwaj, R., Singh, A. K., 2012. Non-destructive prediction of sweetness of intact mango using near infrared spectroscopy. *Sci. Hortic.* 138, 171-175.

- Jha, S. N., Narsaiah, K., Jaiswal, P., Bhardwaj, R., Gupta, M., Kumar, R., Sharma, R., 2014. Nondestructive prediction of maturity of mango using near infrared spectroscopy. *J. Food Eng.* 124, 152-157.
- Kader, A.A., N.F. Sommer, and M.L. Arpaia. 2002. Postharvest handling systems: tropical fruits. In: A.A.Kader (ed), *Postharvest technology of horticultural crops*, third edition. University of California, Agriculture and Natural Resources, Publication 3311, 385-398.
- Ketsa, S., Rattanamalee, S., Babprasert, C. 1991. Growth, development, biochemical changes and harvesting index of mango (*Mangifera indica* L.) cv. Tongdum. *Kasetsart. J. Nat. Sci.* 25, 391-399.
- Krishnamurthy, S.; Subramanyam, H. 1970. Respiratory climateric and chemical changes in the mango, *Mangifera indica* L. *J. Am. Soc. Agron.* 95, 333-337.
- Lazan, H., Ali, Z.M. 1993. Cell wall hydrolases and their potential in the manipulation of ripening of tropical fruits. *ASEAN Food J.* 8, 47-53.
- Lizada, C. Mango. In: Seymour, G.B., Taylor, J.E., Tucker, G.A. *Biochemistry of fruit ripening*. Cambridge: Chapman e Hall, p. 255-271, 1993.
- Louw, E.D., Theron, K.I. 2010. Robust prediction models for quality parameters in Japanese plums (*Prunus salicina* L.) using NIR spectroscopy. *Postharvest Biol. Technol.* 58, 176-184.
- Mahayothee, B., Leitenberger, M.; Neidhart, S., Mühlbauer, W., Carle, R. 2004. Nondestructive determination of maturity of thai mangoes by near-infrared spectroscopy. *Proceedings of the VII international mango symposium. Acta Hortic.* 645, 581–588.
- Makani, O. A., 2009. Mango Quality Survey and Sensory Evaluation of Mango (*Mangifera indica* L.) Cultivars. Master Thesis. University of Queensland, Gatton, p. 49.
- Manica, I. et al. *Tecnologia, produção, agroindústria e exportação da manga*. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2001. 618p.
- Marques, E. J. N.; Freitas, S. T.; Pimentel, M. F.; Pasquini, C. 2016. Rapid and non-destructive determination of quality parameters in the ‘Tommy Atkins’ mango using a novel handheld near infrared spectrometer. *Food Chem.* 197, 1207-1214.

- Medlicott, A. P.; Reynalds, S. B.; New, S.W.; Thompson, A. K., 1988. Harvest maturity effects on mango fruit ripening. *Tropical Agriculture*. 65, 153-157.
- Mitcham, E.J.; McDonald, R.E. 1992. Cell wall modification during ripening of 'Keitt' and 'Tommy Atkins' mango fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, Alexandria, 117, 919-924.
- Mitra, S.K., Baldwin, E.A. 1997. Mango. In: Mitra S (ed), *Postharvest Physiology and Storage of Tropical and Subtropical Fruits*. New York, NY, USA: CAB International, p. 85–122.
- Nicolaï. B. M.; Beullens. K.; Bobelyn. E.; Peirs. A.; Saeys. W.; Theron. K. I.; Lammertyna. J. 2007. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest Biol. Technol.* 46, 99–118.
- Pasquini, C. 2003. Near Infrared Spectroscopy: Fundamentals, Practical Aspects and Analytical Applications. *J. Braz. Chem. Soc.* 14, 198-219.
- Paull, R.E., Duarte O. 2011. Introduction. In: Paull, R.E., Duarte, O., editors. *Tropical Fruits* (2nd ed.). CAB International, London, UK. p. 1-10.
- Peirs, A., Tirry, J., Verlinden, B., Darius, P., Nicolaï, B.M., 2002. Effect of biological variability on the robustness of NIR-models for soluble solids content of apples. *Postharvest Biol. Technol.* 28, 269-280.
- Popenoe, J., Hatton, T.T., Harding, P.L. 1958. Determination of maturity of hard green Haden and Zill mangos. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 71, 326-329.
- Popenoe, J., W.G. Long. 1957. Evaluation of starch content and specific gravity as measures of maturity of Florida mangos. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 70, 272-274.
- Ribeiro, S. M. R. Caracterização e avaliação do potencial antioxidante de mangas cultivadas no estado de Minas Gerais. 2006. 149f. Tese (Doutorado em Bioquímica Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Rungpichayapichet, P., Mahayothee, B., Nagle, M., Khuwijitjaru, P., Müller, J. 2016. Robust NIRS models for non-destructive prediction of postharvest fruit ripeness and quality in mango. *Postharvest Biol. Technol.* 111, 31-40.
- Saranwong, S., Sornsrivichai, J., Kawano, S. 2004. Prediction of ripe-stage eating quality of mango fruit from its harvest quality measured nondestructively by near infrared spectroscopy. *Postharvest Biol. Technol.* 31, 137-145.

- Saranwong, S., Sornsrivichai, J., Kawano, S., 2001. Improvement of PLS calibration for Brix value and dry matter of mango using information from MLR calibration. *J. Near Infrared Spectrosc.* 9, 287-295.
- Saranwong, S., Sornsrivichai, J.; Kawano, S. 2003. On-tree evaluation of harvesting quality of mango fruit using a hand-held NIR instrument. *J. Near Infrared Spectrosc.* 11, 283-293.
- Saranwong, S., Sornsrivichai, J.; Kawano, S. 2004. Prediction of ripe-stage eating quality of mango fruit from its harvest quality measured nondestructively by near infrared spectroscopy. *Postharvest Biol. Technol.* 31, 137-145.
- Schmilovitch, Z., Mizrach, A., Hoffman, A., Egozi, A., Fuchs, Y. 2000. Determination of mango physiological indices by near-infrared spectrometry. *Postharvest Biol. Technol.* 19, 245-252.
- Soule, M.J., Harding, P.L. 1956. Changes in physical characters and chemical constituents of Haden mangos during ripening at 80 F. *Proc. Fla. Sate Hort. Soc.* 69, 282-284.
- Souza, F.V. 2007. Curva de crescimento e exportação de nutrientes e sódio por frutos de mangueira Palmer, Haden e Tommy Atkins. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, p. 54.
- Story, A., Martin, A. AUF National Production Description Language. Australian United Fresh Fruit and Vegetables Association, Flemington NSW. 1996.
- Subedi, P. P., Walsh, K. B., Owens, G. 2007. Prediction of mango eating quality at harvest using short-wave near infrared spectrometry. *Postharvest Biol. Technol.* 43, 326-334.
- Subedi, P. P.; Walsh, K. B.; Owens, G. 2007. Prediction of mango eating quality at harvest using short-wave near infrared spectrometry. *Postharvest Biol. Technol.* 43, 326-334.
- Subedi, P.P., Walsh, K.B. 2011. Assessment of sugar and starch in intact banana and mango fruit by swnirs spectroscopy. *Postharvest Biol. Technol.*, 62, 238-245.
- Subedi, P.P., Walsh, K.B., Owens, G. 2007. Prediction of mango eating quality at harvest using short-wave near infrared spectrometry. *Postharvest Biol. Technol.*, 43, 326-334.

- Subedi, P.P.; Walsh, K. B. 2009. Non-invasive techniques for measurement of fresh fruit firmness. *Postharvest Biol. Technol.* 51, 297-304.
- TACO. Tabela Brasileira de Composição de Alimentos. 4ed. revisada e ampliada. Campinas, SP: UNICAMP, 2011.
- Tandon, D.K., Kalra, S.K. 1983. Changes in sugars, starch and amylases activity during development of mango fruit cv. Dashehari. *J. Hortic. Sci.* 58, 449-453.
- Thanaraj, T., Terry, L.A., Bessant, C. 2009. Chemometric profiling of pre-climateric Sri Lankan mango fruit (*Mangifera indica* L.). *Food Chemistry*, 112, 786-794.
- Valente, M., Leardi, R., Self, G., Luciano, G., Pain, J. P. 2009. Multivariate Calibration of Mango Firmness Using VIS/NIRS Spectroscopy and Acoustic Impulse Method. *J. Food Eng.* 94, 7-13.
- Walsh, K.B. 2016. Dry matter matters. *Mango Matters*, 23, 20-21.
- Walsh, K.B., Golic, M., Greensill, C.V., 2004. Sorting of fruit using near infrared spectroscopy: application to a reange of fruit and vegetables for soluble solids and dry matter content. *J. Near Infrared Spectrosc.* 12, 141-148.
- Walsh, K.B., Golic, M., Greensill, C.V., 2004. Sorting of fruit using near infrared spectroscopy: application to a range of fruit and vegetables for soluble solids and dry matter content. *J. Near Infrared Spectrosc.* 12, 141-148.
- Walsh, K.B., Subedi, P.P. 2016. In-field monitoring of mango fruit dry matter for maturity estimation. *Proc. Int. Symposia on Abscission Processes in Horticulture and Non-Destructive Assessment of Fruit Attributes. Acta Hortic.* 1119, 273-278.
- Watkins, C.; Harman, J. 1981. Use of penetrometer to measure flesh firmness of fruit. *Orchardist New Zealand.* 54, 14-16.
- Xiaobo, Z., Jiewen, Z., Povey, M. J. W., Holmes, M., Hanpin, M. 2010. Variables selection methods in near-infrared spectroscopy. *Anal. Chim. Acta.* 667,14-32.
- Yahia, E.M. 2011. Mango (*Mangifera indica* L.). In: Yahia, E.M. (Ed.) *Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits. Volume 3: cocona to mango.* Woodhead Publishing: p.492-565.

Tables:**Table 1.** Descriptive statistics of the calibration set for dry matter (DM) and soluble solids content (SSC) of 'Palmer' mangoes.

Group	Soluble solids (%)				Dry matter (g.kg ⁻¹)			
	N ^a	Mean	Range	SD	N ^a	Mean	Range	SD
Calibration	149	7.38	21.0-3.8	3.85	149	154.8	221.2-113.4	22.1

^aN = number, ^bSD = standard deviation.

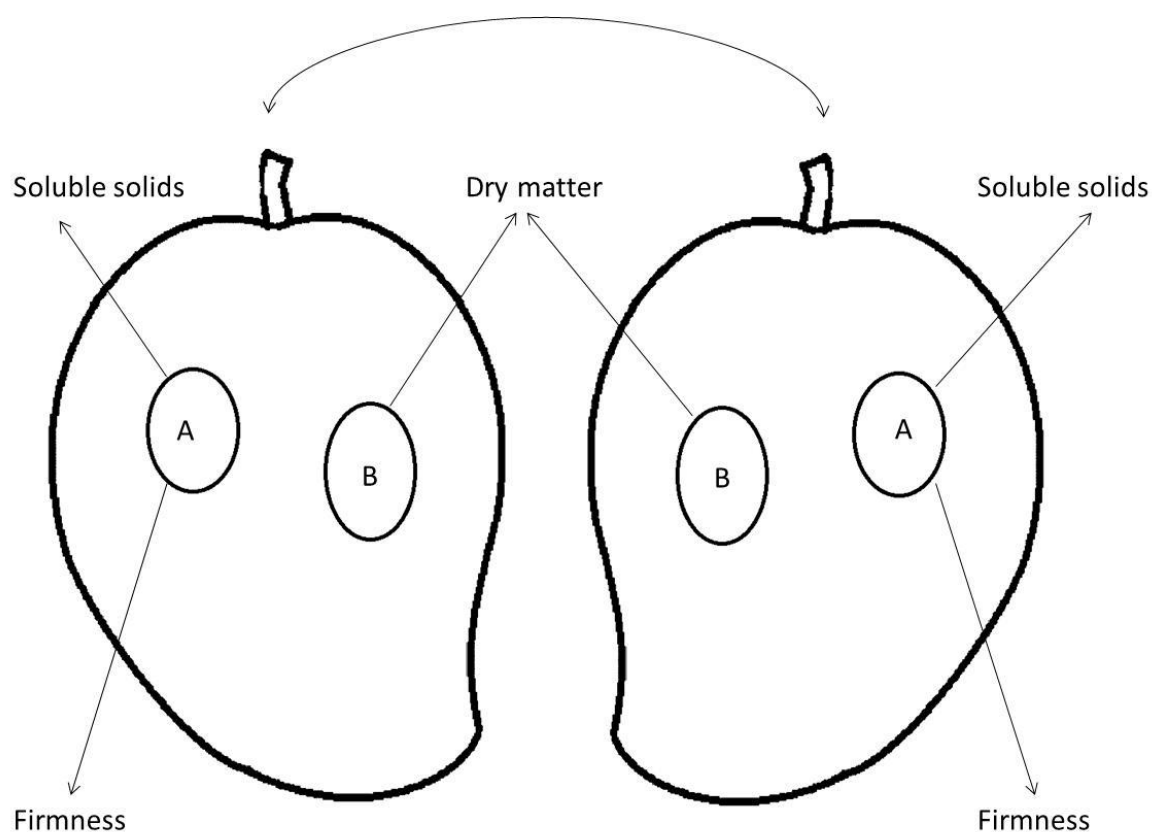
Figures

Figure 1. Places where the near infrared (NIR) spectra were acquired and from where the reference analysis were carried out. (A) soluble solids content (SSC) and firmness, and (B) dry matter content (DM).

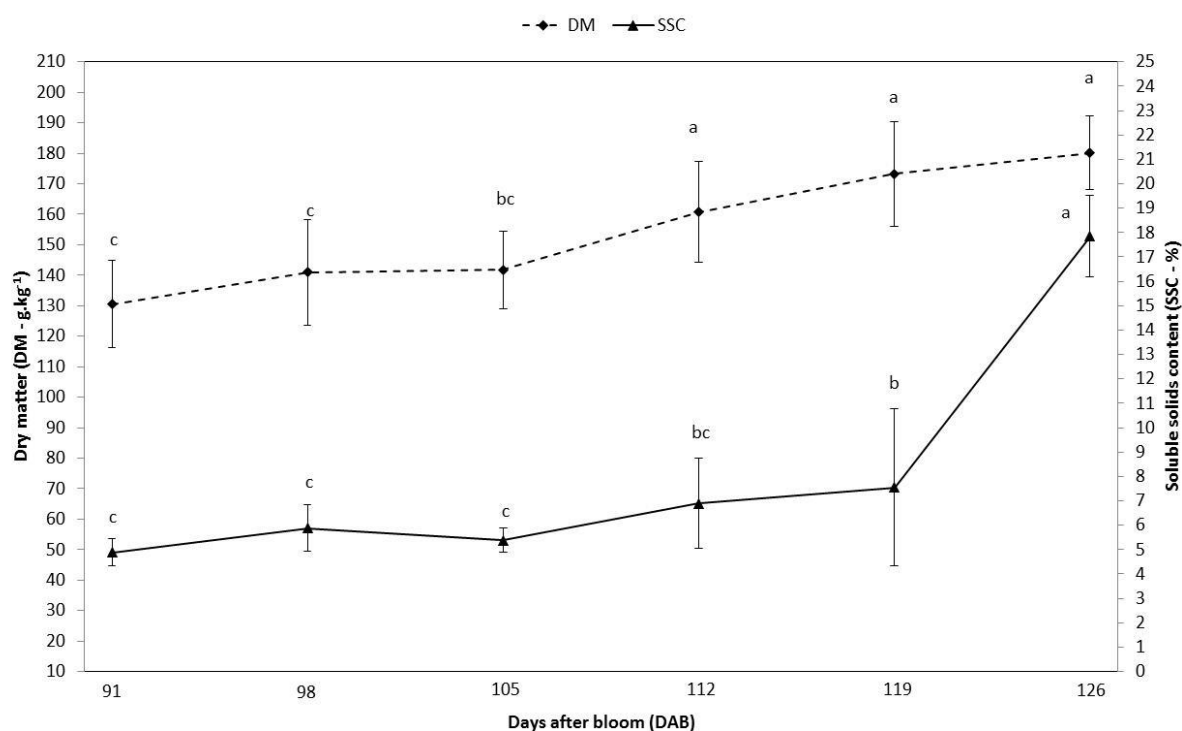


Figure 2. Dry matter (DM - g.kg⁻¹) and soluble solids content (SSC - %) of 'Palmer' mangoes harvested at different developmental stages (91 to 126 days after bloom), reference analysis. The values of each stage is the mean value of 25 fruits (91 DAB), 30 fruits (98 and 105 DAB), 28 fruits (112 DAB), 25 fruits (119 DAB), and 11 fruits (126 DAB). Bars represent the standard deviation (SD).

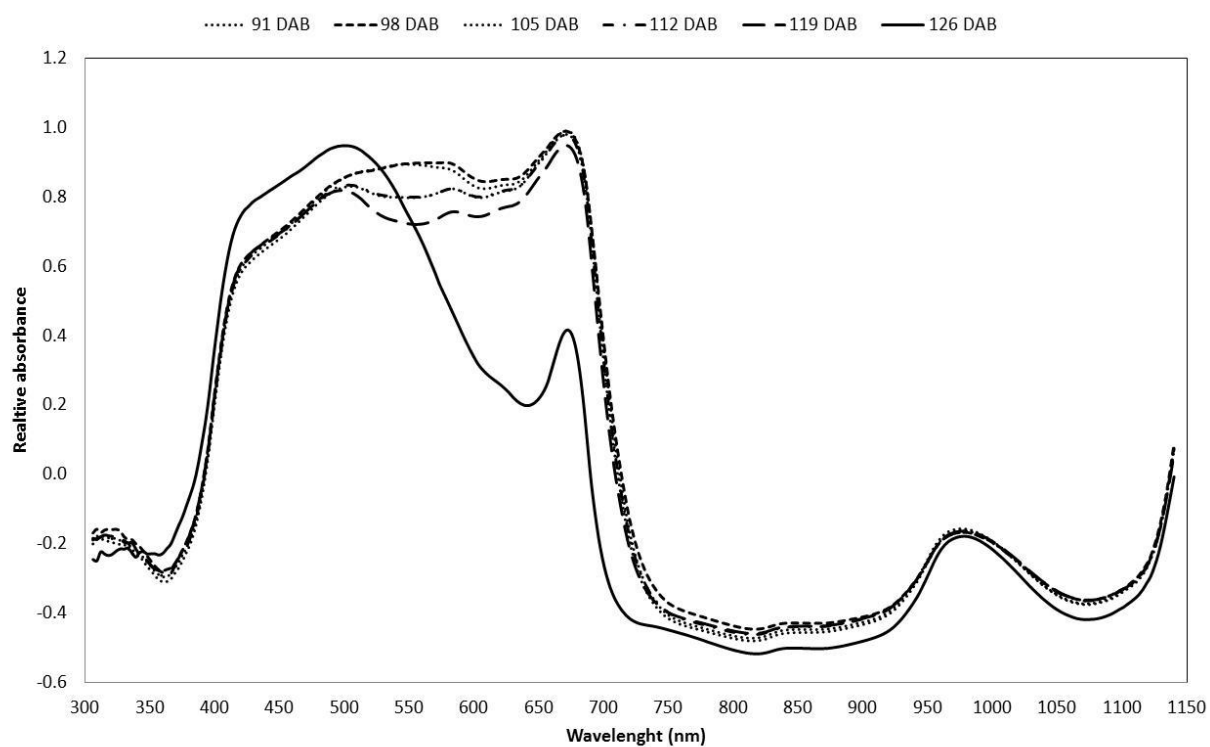


Figure 3. Mean raw spectra of 'Palmer' mango harvested at different developmental stages (91 to 126 days after bloom - DAB).

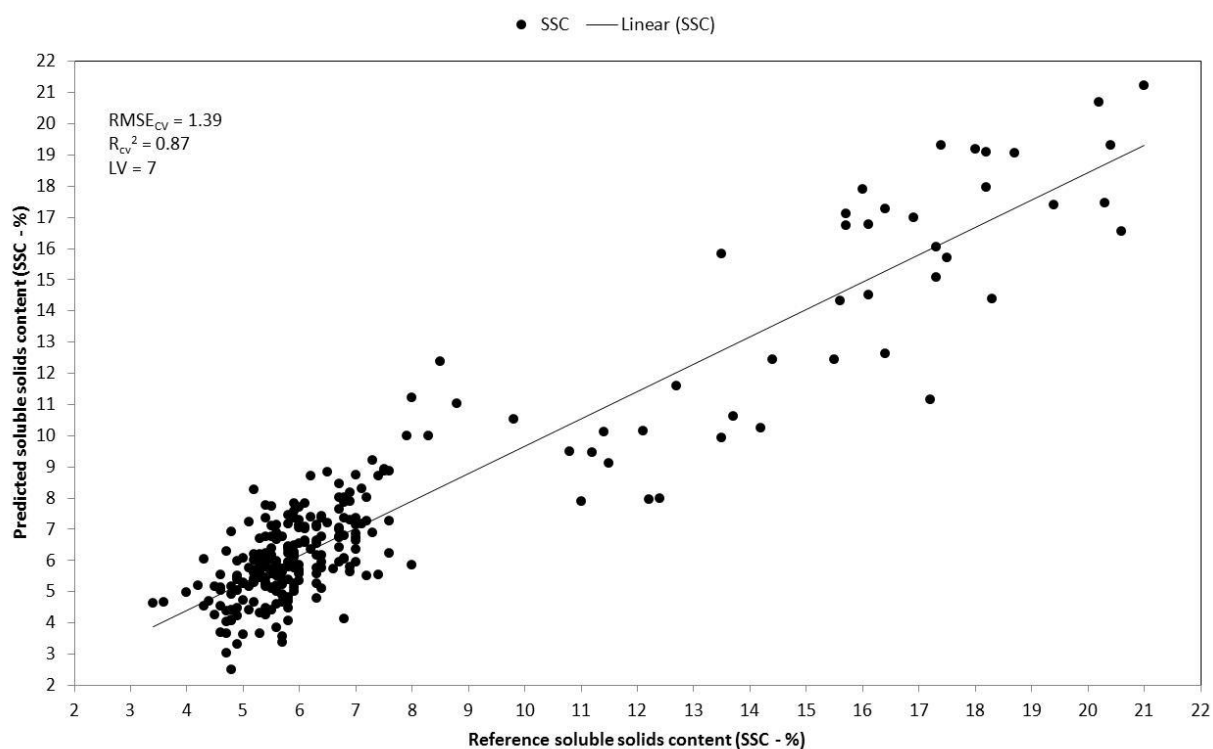


Figure 4. Determined and predicted SSC (%) of ‘Palmer’ mangoes harvested at different developmental stages (91 to 126 days after bloom) using a portable F-750 spectrometer.

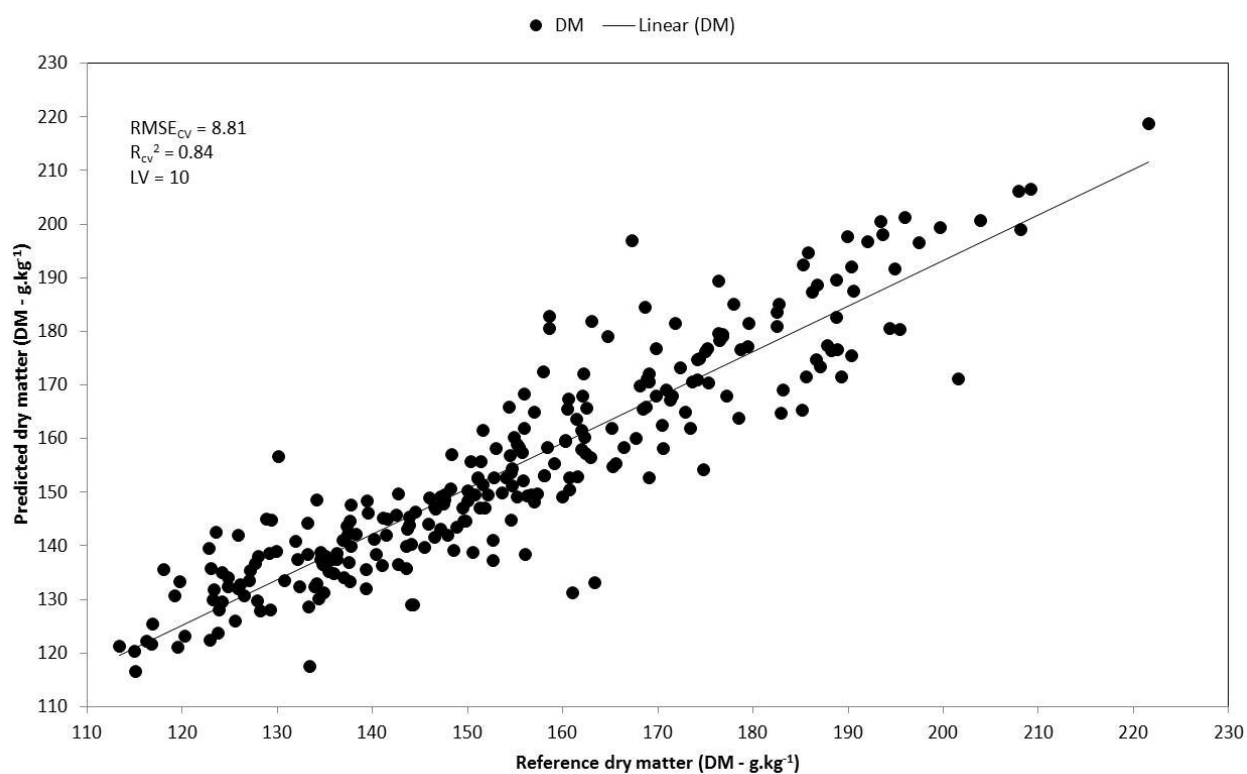


Figure 5. Determined and predicted DM (g.kg⁻¹) of 'Palmer' mangoes harvested at different developmental stages (91 to 126 days after bloom) using a portable F-750 spectrometer.

CAPÍTULO 3 – Cold storage of ‘Palmer’ mangoes sorted based on dry matter content using portable near infrared (VIS-NIR) spectrometer²

Abstract

The objective of this study was to use dry matter (DM) calibration models to sort ‘Palmer’ mangoes prior cold storage and to evaluate the physiological and chemical changes during the storage period. PLS model developed with fruit from 2015/2016 season was not adequate to predict DM content in fruit from 2016/2017 (not adjusted R^2). Therefore, VIS-NIR spectra from 2016/2017 season were incorporated into data set and a new model was developed ($RMSE_{cv}$ of 10.5 g.kg^{-1} , R^2_P of 0.75). With the new model, ‘Palmer’ mangoes were sorted into two maturity stages (150 g.kg^{-1} and 110 g.kg^{-1}) which resulted in quality differences mainly in relation to DM and SSC. Portable VIS-NIR spectrometer can be used to sort fruit according to maturity stages based on DM content and this classification affect fruit quality during cold storage as fruit with higher DM (150 g.kg^{-1}) presented better quality than fruit with lower DM (110 g.kg^{-1}).

Keywords: *Mangifera indica* L., chemometrics, PLS, SSC, DM, SVR.

Practical applications

Although results can be found regarding the use of portable NIR spectrometers to estimate maturity in mango fruit, there are no studies stating the use of this method to sort fruit prior cold storage. Our results highlight that portable VIS-NIR spectrometer can be used to sort fruit according to maturity stages based on dry matter (DM) content and this classification affects fruit quality during cold storage as fruit with higher DM (150 g.kg^{-1}) presented better quality than fruit with lower DM (110 g.kg^{-1}) at the end of the storage period.

² SANTOS NETO, J. P.; LEITE, G. W. P.; OLIVEIRA, G. S. ; CUNHA JÚNIOR, L. C. ; GRATÃO, P. L.; MORAIS, C. L. M.; TEIXEIRA, G. H. A. Cold storage of ‘Palmer’ mangoes sorted based on dry matter content using portable near infrared (VIS-NIR) spectrometer. JOURNAL OF FOOD PROCESSING AND PRESERVATION, v. 42, p. e13644-11, 2018.

1. Introduction

Non-destructive methods have long been suggested as a means to evaluate fruit quality and near infrared spectroscopy (NIRS) is one of the analytical techniques that stand out (Abbott, 1999). Therefore, many studies can be found with bench top and/or on-line NIR spectrometers estimating soluble solids content (SSC), dry matter content (DM), titratable acidity (TA), firmness, starch content, and other quality parameters in mango fruit (Schmilovitch et al., 2000; Saranwong et al., 2001; Mahayothee et al., 2004; Saranwong et al., 2004; Nicolai et al., 2007; Delwiche et al., 2008; Valente et al., 2009).

Classic studies on portable NIR spectrometers to estimate quality parameters in mangoes were reported by Mahayothee et al. (2004), Saranwong et al. (2004), and Subedi et al. (2007). More recently, a portable Luminar 5030 NIR was used by Jha et al. (2014) to assess a maturity index estimated based on SSC, DM, and TA in seven mango varieties. Rungpichayapichet et al. (2016) used a portable VIS-NIR photo-diode array spectrometer (HandySpec Field 1000, tec5AG) to study mango fruit quality and maturity and good results were reported for SSC prediction, standard error of prediction (SEP) of 1.2% and a correlation coefficient (R^2) of 0.90, for firmness prediction (SEP of 4.22 N and R^2 of 0.82), and for TA prediction (SEP of 0.38% and R^2 of 0.74). Marques et al. (2016) studying 'Tommy Atkins' mangoes used a portable MicroNIR 1700 to predict SSC, DM, TA, and firmness with low root mean square error of prediction (RMSEP), 0.92 °Brix, 0.51%, 0.17%, and 12.2 N, respectively. Santos Neto et al. (2017) reported the use of a portable F-750 to predict DM in 'Palmer' mango with good results, root mean square error of cross validation ($RMSE_{CV}$) of 8.3 g.kg⁻¹ and $RMSE_{cv}$ of 8.8 g.kg⁻¹ with a R^2_c of 0.86 and R^2_{cv} of 0.84. Nordey et al. (2017) reported that 'Cogshall' mango quality varies with pre and post-harvest practices, and the differences in SSC, DM, hue angle, TA and firmness were determined using a portable LABSPEC 2500 NIR spectrometer. More robust results were reported by Walsh & Subedi (2016) with portable VIS-NIR spectrometer used to in field DM content in mango fruit of different varieties with a $RMSE_{CV}$ of 0.68% and a R^2 of 0.94.

Although results can be found regarding the use of portable VIS-NIR spectrometers to estimate maturity in mango fruit, there are no studies stating the

use of this method to sort fruit prior cold storage. Mango maturity stage estimation by means of portable VIS-NIR spectroscopy should be accurate as maturity plays an important role during cold storage as the susceptibility to chilling injury varies according to mango maturity stages (Medlicott et al., 1988; Kader, 2003). According to Mohammed & Brecht (2002), the symptoms of chilling injury in mangoes are related to skin discoloration (grayish scald-like), skin pitting, uneven ripening, reductions in the level of carotenoids, aroma, and flavor during ripening. These authors reported that immature mango fruit, characterized by having shoulders below the pedicel insertion, showed chilling injury symptoms after 18 days at 5°C. According to Brecht & Yahia (2009), mature-green mangoes stored under low temperature (0°C) for one day or for few weeks at temperatures below 12°C can develop chilling injury. On the other hand, fully ripe fruit can be stored at 8-10°C without showing such injury (Paull & Duarte, 2011). Mango is a climacteric and perishable fruit which ripen quickly at ambient temperature and their quality can only be maintained for 8 days under these conditions (Kader, 2003). Cold storage can be used to extend the shelf-life of mangoes for up to 16 days, but due to the development of chilling injury at temperatures below 13°C (Miltra & Baldwin, 1997), the temperatures used to transport mangoes are not low enough to delay ripening, decay and senescence (Brecht & Yahia, 2009).

Therefore as it is essential to develop standard maturity indices for mangoes for a particular cultivar, growing region and for local or export markets (Yahia, 2011), and the importance of an accurate maturity stage determination prior cold storage, the objective of this study was to use the calibration models for DM content prediction of 'Palmer' mango developed by Santos Neto et al. (2017) to sort mangoes prior cold storage and to evaluate the physiological and chemical changes during the storage period of 14 days similar to maritime shipment from Brazil to Europe.

2. Material and methods

2.1. Plant material

'Palmer' mango (*Mangifera indica* L.) fruit were harvested in a commercial orchard located at Cândido Rodrigues (21°19'21" South, 48°38'2" West, 671 m altitude), São Paulo State, Brazil. The panicles were marketed when mango trees were in full bloom and fruit were harvest after 132 and 139 days after bloom (DAB).

2.2. Spectra acquisition using portable VIS-NIR spectrometer

Prior to the cold storage, 20 fruit were harvest (132 DAB) and VIS-NIR spectra were collected according to the methodology described by Subedi et al. (2007) and Santos Neto et al. (2017) using a portable F-750 (Felix Instruments, Washington, USA), on the wavelength range of 310 to 1,100 nm, using interactance as optic configuration and a resolution of 8-13 nm. The light source was a halogen lamp.

The dry matter (DM) content was determined as reported by Santos Neto et al. (2017) and the PLS model described by these authors was used to predict the maturity stages based on DM content. The VIS-NIR spectra of the prior harvest (132 DAB) were incorporated into the data set and a new PLS model was developed using full cross validation on the spectral range of 699-981 nm without applying any pre-processing according to Santos Neto et al. (2017).

For the cold storage experiment, a total of 430 fruit were harvested at 139 DAB, the VIS-NIR spectra were collected using the portable F-750 NIR spectrometer, and the maturity stages were determined by DM prediction using the new PLS model. Following the recommendations that mango fruit have to be harvested with 150 g.kg⁻¹ DM (Walsh, 2016), the fruit were sorted into two classes, as such: *i.* fruit with 150 g.kg⁻¹ DM, and *ii.* fruit with 110 g.kg⁻¹ DM (commonly observed in export mangoes in São Paulo State, Brazil).

2.3. Maturity stage prediction – chemometrics

VIS-NIR spectra obtained in the first harvest (132 DAB) was used as a prediction set applying the DM calibration model developed by Santos Neto et al. (2017). The Unscrambler version 10.3 (Camo, Oslo, Norway) was used for data

analysis and the prediction performance was evaluated according to the coefficient of determination (R^2) and the root mean square error of prediction ($RMSEP$) as stated by Golic & Walsh (2006), and Nicolai et al. (2007). As the DM prediction results were not satisfactory [high $RMSEP$ and SEP values, and not adjusted (NA) R^2], the VIS-NIR spectra of the first harvest was incorporated into the data set and a new full cross validation model was developed using a partial least squares (PLS) regression and support vector regression (SVR). The SVR analysis was carried out using the software MATLAB R2012b (MathWorks Inc., USA) with PLS Toolbox 7.9.3 (Eigenvector Research Inc., USA). The VIS-NIR spectra were not pre-processed and the wavelength range of 699-981 nm was used. The SVR parameters were: Kernel, radial basis function (RBF); SVM optimal parameters, automatic optimization using full cross-validation; cost=100, epsilon=1, gamma=3.1623, number of support vectors (SVs) = 141. The performance of the new model was evaluated based on the coefficient of determination of cross validation (R_{CV}^2), the root mean square error of cross validation ($RMSE_{CV}$), and $RMSEP$. Finally, the new model with NIR spectra from 2015/2016 and 2016/2017 seasons was used to predict the maturity stages based on DM content of the 430 fruit used in the cold storage experiment. The descriptive statistics for the two maturity stages can be seen in Table 1.

2.4. Reference analysis – dry matter

On the same location where the VIS-NIR spectra were obtained, samples of 27 mm in diameter and with 10 mm of depth were collected for dry matter (DM) determination (Subedi et al., 2007). Mango epidermis (1-2 mm thick) was removed using a potato peeler and the DM content determined by the samples weight loss after 48 hours of oven dry at 105 °C (Santos Neto et al., 2017).

2.5. Cold storage

Due to mango sensibility to temperatures below 13 °C (Miltra & Baldwin, 1997), 'Palmer' mangoes were stored in a cold room at 12.3±0.4 °C and 69.9±4.1% RH for up to 14 days. After this period the fruit were transferred to ambient

conditions (21.6 ± 4.2 °C and 67.6 ± 4.5 % RH) for 7 days simulating the commercialization period.

From a total of 430 harvested fruit, 66 were sorted as containing 150 g.kg^{-1} DM and 70 as containing 110 g.kg^{-1} DM (Table 1). The experiment was set up in a completely randomized design (CRD) in a factorial arrangement 2 (maturity stages: 150 g.kg^{-1} DM and 110 g.kg^{-1} DM) x 3 (withdraws: 0, 7, 14 days) with 10 repetitions (fruit). For the fruit transferred to ambient it was used a CRD with 2 treatments (maturity stages: 150 g.kg^{-1} DM and 110 g.kg^{-1} DM) and 5 repetitions (fruit).

2.6. Quality evaluations

2.6.1. Respiration

A respirometer was used for the respiration rate determination ($\text{mg.CO}_2.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$). Three fruit from each treatment were individually set into a hermetical plastic jar and air was pumped through the jars. The air passed through a 200 g.kg^{-1} (w/v) calcium hydroxide (CaO_2) solution, and through a 50 g.kg^{-1} (w/v) potassium permanganate (KMnO_4) solution prior entering the jars containing the fruit. The air passed through the jars and the outlet tube was let inside a 0.1 N potassium hydroxide (KOH) solution for one hour. Before and after this period the CO_2 content absorbed by the KOH solution was determined by titration and the respiratory rate calculated according to Bleinroth et al. (1976), as such:

$$\frac{2,2 \times (B - A) \times V_1}{P \times T \times V_2}$$

Where: B is the volume (mL) of HCl before one hour, A is the volume (mL) of HCl after one hour, V_1 is the total volume of KOH (mL), V_2 is the volume of KOH (mL) used in the titration, P is the fruit mass (kg), T is the time (hour), and 2.2 is the factor of CO_2 (44/2) equivalent times the HCl (0.1N) volume.

This analysis was carried out each two days during cold storage and after transfer to fruit to ambient condition.

2.6.2. Fresh weight loss

Fresh fruit weight loss (FWL) was determined based on the difference in fruit mass from the different withdrawals (0, 7, 14 days, and after 7 days in ambient) with 10 repetitions (fruit) per treatment. The fruit mass was determined using a semi-analytical balance with a precision of 0.01 g (Marte, model AS 2000, São Paulo, Brazil).

2.6.3. Colour

Mango skin colour was determined using a Minolta colorimeter (Model CR-400, Minolta Corp., Osaka, Japan) with an 8 mm aperture. The L^* , a^* , b^* color parameters were used to obtain the luminosity (L^*), chromaticity and hue angle (McGuire, 1992). Two readings were taken from each fruit on opposite sides of the equatorial region.

2.6.4. Firmness

Fruit firmness determination was carried out on opposite sides of the equatorial region of each mango after removing the skin according to Watkins & Harman (1981). An Effegi Fruit Tester penetrometer (Bishop FT 327 Penetrometer, Alfonsine, Italy) with an 8.0 mm tip was used and the results were expressed in Newton (N).

2.6.5. Physico-chemical analysis

The pulp of the mango fruit from the different withdrawals (0, 7, 14 days, and after 7 days in ambient) was homogenized and used to soluble solids content (SSC) determination using a digital refractometer PR-101 α (Atago, Tokyo, Japan) according to the AOAC method proc. 920.151 (AOAC, 1997). Titratable acidity (TA) determination was carried out using AOAC method 932-12 (AOAC, 1997), which allowed the calculus of the SSC/TA ratio. The pH was also determined (AOAC,

1997-proc 945-27) and the vitamin C content was determined using Tillmans method (Strohecker & Henning, 1967) with the results expressed as g.kg⁻¹.

2.6.6. Sensory evaluation

The external and internal appearance of the mango fruit were evaluated by a untrained sensory panel (n=20) using a hedonic scale of 9 points, as such: 9 - like extremely, 8 - like very much, 7 - like moderately, 6 - like slightly, 5 - neither like nor dislike, 4 - dislike slightly, 3 - dislike moderately, 2 - dislike very much, and 1 - dislike extremely. This evaluation was carried out in the different withdrawals (0, 7, 14 days, and after 7 days in ambient) (Dutcosky, 2013).

2.7. Statistical analysis

The data was subjected to analysis of variance (ANOVA) using the PROC MIXED procedure of SAS (1999) and the means compared using Tukey's test with 5% probability. The data of the fruit transfer to ambient temperature was subjected to ANOVA using the GLM procedure of SAS (1999) and the means compared using Tukey's test with 5% probability.

3. Results and discussion

3.1. Maturity stage prediction

The determination of 'Palmer' mango maturity stage using VIS-NIR portable spectrometer was carried out based on our previous study (Santos Neto et al., 2017) with fruit harvested in the 2015/2016 season. Although good results were reported, RMSE_C of 8.3 g.kg⁻¹ and RMSE_{cv} of 8.8 g.kg⁻¹ with a R²_C of 0.86 and R²_{cv} of 0.84 (Santos Neto et al., 2017), Peirs et al. (2002) stated that the seasonal variability is an important source of variation and must be taken into account to develop robust prediction models. Therefore, prior to the cold storage, 20 fruit were harvested from the 2016/2017 season and mango maturity was predicted based on DM content using Santos Neto et al. (2017) results (Figure 1A).

Based on the prediction performance the PLS model developed with fruit from 2015/2016 season, it was not possible to predict DM in fruit from 2016/2017 as the R^2 was not adjusted (NA) and the RMSEP and SEP values sharply increased to 55.6 g.kg⁻¹ and 109.3 g.kg⁻¹, respectively (Figure 1A). These results are in agreement with Peirs et al. (2002), which means, seasonal variability is an important source of variation and have to be taken into consideration in developing calibration models. Both seasons were quite similar in terms of average temperatures. However, in 2015/2016 it was observed higher precipitations (192.3 mm) in relation to 2016/2017 (116.3 mm), this might have affected the sunlight hours and relative humidity (Table 2). Overcast weather conditions resulted in less sunlight and reduce fruit development rates. The differences in sunlight also affect photosynthesis and DM accumulation, which might have contributed for the differences found between fruits from different harvest seasons.

To solve the lack of robustness, the VIS-NIR spectra from the 20 fruit harvested 132 DAB were incorporated into the calibration set obtained in 2015/2016 and a new PLS model was developed, similar to Santos Neto et al. (2017), Figure 1B. With this procedure it was observed that the PLS model performance was inferior than what was reported in 2015/2016, which means the RMSEC increased from 8.3 g.kg⁻¹ to 12.1 g.kg⁻¹, RMSE_{cv} from 8.8 g.kg⁻¹ to 12.6 g.kg⁻¹, and R^2_c value reduced from 0.86 to 0.67 (Figure 1B). This model was used to predict DM prior the cold storage.

After 139 DAB, 430 fruit were harvested, the VIS-NIR spectra collected, and mangoes were sorted into two maturity stages based on DM content (150 g.kg⁻¹ and 110 g.kg⁻¹) by adding and subtracting the RMSEP value of 12.6 g.kg⁻¹ from the target DM contents. Therefore, the fruit were sorted in the range of 137.4 to 162.6 g.kg⁻¹ for the 150 g.kg⁻¹ DM content and in the range of 97.4 to 122.6 g.kg⁻¹ for the 110 g.kg⁻¹ DM content. It is worth to mention that only 15.35 % of the fruit were classified as 150 g.kg⁻¹ DM and 16.28% with 110 g.kg⁻¹ DM (Table 1), what represented a fruit loss of 84.65 % and 83.72 %, respectively. These results highlight the importance of using portable NIR spectrometer to sort fruit when they are still in the fields as only those with the established DM content and/or other quality parameter would be

harvested, and transported to the packing house, a vantage already reported by Subedi et al. (2007) for other mango cultivars.

The DM content of the 20 fruits of both maturity stages from the day 0 was used as prediction set using the new PLS model (Figure 2A). However, even incorporating VIS-NIR spectra from 2016/2017 into the data set, the new PLS model did not perform well and the DM content could not be accurately predicted as the R^2 was not adjusted (NA) and the $RMSEP$ and SEP values increased to 32.5 g.kg^{-1} and 61.1 g.kg^{-1} , respectively (Figure 1A). These values were lower than when the PLS model of 2015/2016 was firstly used to predict the DM content of the fruit from 2016/2017, though. Therefore, the strategy of incorporating new sources of variability improves the prediction capability and accuracy (Nicolai et al., 2007; Pasquini, 2003). However, the $RMSEP$ and SEP values were too high and the VIS-NIR spectra from the second harvest was also incorporated into the data set and a new PLS model was developed following the same procedure previously described (Figure 2B). By incorporating the VIS-NIR spectra of the second harvest from 2016/2017 season it was observed a slight better performance as the $RMSEC$ and $RMSE_{cv}$ values reduced from 12.1 g.kg^{-1} to 10 g.kg^{-1} and from 12.6 g.kg^{-1} to 10.5 g.kg^{-1} , respectively (Figure 1B, 2B). The R^2_c and R^2_P increased to 0.77 and 0.75, respectively (Figure 1B, 2B). PLS models had better calibration (lower $RMSEC$, $RMSE_{cv}$, R^2_{cal} , and R^2_{cv}), but SVR had a slightly better prediction results, that means lower $RMSEP$, SEP , and a R^2_P of 0.24 (Figure 2C, 2D).

To show the existing differences between batches, the VIS-NIR spectra obtained with 'Palmer' mangoes harvested in 2015/2016 and 2016/2017 seasons were submitted to principal component analysis (PCA) and a clear group difference was observed (Figure 3A). The principal components 1 and 2 (PC_1 and PC_2) represented 99 % of the explained variance and the PC_1 was responsible for 92 % and the PC_2 for 7 % of that (Figure 3A). Fruit harvested in 2015/2016 grouped on the right hand side of the PC_1 and fruit harvested in 2016/2017 on the left hand side quadrant with clear group segregation. The PCA loadings can be seen in Figure 3B. The variables (wavelengths) of 699, 702, 705, 708, and 711 nm were significant ($P < 0.05$) with 95 % confidence level using a t-test. Therefore, the region between

699-711 nm was the most different between mangoes harvested in 2015/2016 and 2016/2017 (Figure 3B).

According to Wang et al. (1991), one of the main factors that affect the performance of prediction models are samples coming from different batches. Regarding NIRS involving fresh fruit, this factor is probably the most important as fruit are matrixes subjected to variability within the plant (age, load, position, light, etc.), variability within orchards (soils type, nutrition, and climatic conditions), maturity stages and seasonal variability (Peirs et al., 2002). The results previously reported regarding the problems involving DM content prediction in 'Palmer' mangoes (Figure 1A and 2A) coming from different batches are in agreement with Wang et al. (1991) and Peirs et al. (2002).

3.2. Cold storage

3.2.1. Respiratory activity

The respiratory activity ($\text{mg.CO}_2.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$) of 'Palmer' mangoes from both maturity stages was not significant different during cold storage and after transfer to ambient (Figure 4). During cold storage the respiratory activity varied greatly for fruit from both maturity stages, and it was not observed a climacteric peak as typically reported in mangoes (Kader, 2003; Chitarra & Chitarra, 2005; Paull & Duarte, 2011). Teixeira & Durigan (2011) also did not observed the climacteric peak during 'Palmer' mango storage at 12.8 °C for 28 days under controlled atmosphere (CA), and the respiration rate (21 kPa O_2) was similar to the fruit with 150 g.kg^{-1} and 110 g.kg^{-1} DM (Figure 4).

When fruit of both maturity stages were transfer to ambient the respiration rate significantly increased from $6.72 \pm 1.50 \text{ mg.CO}_2.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ to and $8.56 \pm 0.67 \text{ mg.CO}_2.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ (Figure 4). Teixeira & Durigan (2011) also reported increments in respiration rate of 'Palmer' mangoes when fruit were transfer to ambient after cold storage. However, the respiration rates reported by Teixeira & Durigan (2011) and Teixeira et al. (2018) were much higher than our results as these authors used immature mangoes and it might have affected the physiological activity (Award,

1993). In addition, the high fresh weight loss (Figure 5) might have affected the respiration and the other quality parameters (Table 2).

3.2.2. Fresh weight loss

The fresh weight loss (FWL) constantly increased during the cold storage period without significant differences between the maturity stages (Figure 5).

FWL reached 9.3 % and 11.1 % for fruit with 150 g.kg⁻¹ and 110 g.kg⁻¹ DM on the 16 day of cold storage, respectively (Figure 5). Although any significant difference was observed between maturity stages, numerically the FWL of the fruit with 110 g.kg⁻¹ DM was superior then with 150 g.kg⁻¹ DM (Figure 5). This difference is an indicative that fruit with 110 g.kg⁻¹ DM were more immature as cuticle deposition takes place on more mature fruit and this process reduce moisture loss (Lashbrooke et al., 2014). Pantastico et al. (1979) reported that FWL commonly reach 14% during mango cold storage and losses over 5.0% can compromise fruit quality. If a FWL of 5.0% were considered as a threshold value, fruit with 110 g.kg⁻¹ DM would have had a shelf-life of only 4 days and fruit with 150 g.kg⁻¹ DM a shelf-life of 8 days (Figure 5). There results highlight the advantage of sorting more mature fruit for long term storage.

3.2.3. Physico-chemical parameters

The physico-chemical parameters determined during the cold storage for the 'Palmer' mangoes of the two maturity stages (150 g.kg⁻¹ and 110 g.kg⁻¹ DM) can be seen at Table 3.

Regarding the colour parameters, it was not observed significant differences between maturity stages for a* and hue angle (°h), but significant differences were observed for luminosity (L*), b*, and chromaticity (Chroma*), Table 3. 'Palmer' mangoes with 110 g.kg⁻¹ DM presented fruit with dark skins colour (L* = 38.68), with more blue (b* = 13.08) blush and saturation (chroma = 39.48) than fruit with 150 g.kg⁻¹ DM (L* = 36.55, b* = 11.39, and chroma = 37.41). Although the magnitude of the differences were small, it is possible to state that fruit with 110 g.kg⁻¹ DM were

more immature than fruit with 150 g.kg⁻¹ DM. Colour has long been used as a maturity index in mangoes (Malevski et al., 1977) and maturity stages can actually be predicted by using CIE colour parameters (Jha et al., 2007). Therefore, the use of a portable VIS-NIR spectrometer to sort 'Palmer' mangoes according to DM content indeed resulted in differences in maturity. On the other hand, all colour parameters did not change during cold storage and it was not observed significant interactions between maturity stages and withdraws (Table 3). Possibility during cold storage the low temperatures might have affected 'Palmer' mangoes colour changes as 'Kensington Pride' mango carotenoid synthesis was reduced under temperatures storage (O'Hare, 1995), similar to other mango varieties (Thompson, 1971; Medlicott et al., 1986). In addition, the elevate FWL lead the fruit to become withered and dehydrated after 14 days of cold storage, and the metabolic processes might have been affected by the losses (Wills et al., 1998).

The differences in maturity stages can also be observed as SSC and DM (Table 3). As fruit were deliberately sorted based on DM content using the PLS model, a significant difference was observed for this parameter, but the reference results were lower than the established DM content for both maturity stages, which means that the fruit with 110 g.kg⁻¹ DM actually have 122.9 g.kg⁻¹ and fruit with 150 g.kg⁻¹ DM have 134.4 g.kg⁻¹ (Table 3). The SSC was also higher in fruit with 150 g.kg⁻¹ DM (7.92 %) in relation to fruit with 110 g.kg⁻¹ DM (7.39 %), but the other quality parameters (TA, pH, ration, vitamin C content, and firmness) did not present significant differences (Table 3). Again by using NIRS was possible to sort fruit into two maturity stages with distinct quality characteristics.

During cold storage it was not observed any significant interaction between maturity stages and withdraws for all physico-chemical parameters (Table 3). However, it was observed significant differences for pH, SSC, TA, and vitamin C (Table 3). pH values reduced during cold storage and TA content increased (Table 3). The modifications are not in agreement with what is commonly described during mango fruit ripening as normally it is reported increases in pH and reductions in TA contents (Medlicott et al., 1986), including for 'Palmer' mangoes (Megale, 2002). O'Hare (1995), studying the effect of storage temperatures in 'Kensington Pride' mangoes reported that at 13 °C the TA content were very high even after 20 days of

storage. Melo Neto et al. (1999) also observed high TA content in 'Palmer' mangoes after 28 days of storage at 12 °C. Therefore, the cold storage might have affected the ripening process and consequently organic acids retention, including the ascorbic acid (vitamin C), Table 3.

The SSC increased during cold storage from 6.2 % on the first day to 9.9% on the 14 day (Table 3). In general during mango storage is reported an increase in SSC due to starch degradation (Khader, 1992; Mitcham & McDonald, 1992). The observed SSC of 9.9 % was not high enough as the ideal SSC for mango ranges from 10 % (Medlicott et al., 1988) to 13 %, and even higher values, 18.5% (Corrêa, 1992). According to Sañudo et al. (1997), by the time of 'Tommy Atkins' mango harvest aiming fruit export the SSC might range from 7 % to 8 %, and Makani (2009) stated that a SSC of 13.5 % as a threshold content for consumers to accept 'Tommy Atkins' mangoes. Possibly as the reference DM content, mainly for the 150 g.kg⁻¹ DM maturity stage, was lower than was expected (134.4 g.kg⁻¹), the starch hydrolyses was not sufficient to warrant a recommended SSC. Therefore, it is imperative a continuous development of the DM prediction model aiming improve robustness and accuracy in order to get results as close as possible to the target values.

3.3. Ambient storage

After cold storage the 'Palmer' mango fruit were transfer to ambient conditions (21.6±4.2 °C and 67.6±4.5 % HR) for 7 days simulating fruit commercialization (Table 4). In ambient, fruit from both maturity stages lost more moisture and the FWL reached 16.4 % and 18.1% for fruit with 150 g.kg⁻¹ and 110 g.kg⁻¹, respectively (Table 4). Therefore, fruit were completely withered, dehydrated, and with compromised appearance.

The initial colour differences observed between maturity stages (Table 3) disappeared and any significant difference was observed (Table 4). Fruit presented normal colour development with dark skins (L^* = 35.90 – 37.43), higher saturation (chroma = 36.74 – 38.14), and with a typical 'Palmer' purple skin colour ($^{\circ}h$ = 266.71 – 274.08), Table 4. Colour changes were accelerated at ambient similar to previous

reports on 'Palmer' mango cold storage (Melo Neto et al., 1999; Jeronimo & Kanesiro, 2000).

The differences in terms of DM content also disappeared in ambient and the only observed significant difference was related to TA (Table 4). The DM content increased in both maturity stages and reached 130.1 and 143.0 g.kg⁻¹ for fruit with 110 g.kg⁻¹ and 150 g.kg⁻¹, respectively (Table 4). DM content might have increased as a result of the fresh weight loss (FWL). However, only the fruit with 150 g.kg⁻¹ DM content get close to the recommendation stated by Walsh et al. (2004), which means, 140 g.kg⁻¹, but Walsh (2016) recommended even higher DM contents (150 g.kg⁻¹).

Starch hydrolysis might have affected the SSC which increase to 11.47 - 11.61 % in fruit with 150 g.kg⁻¹ and 110 g.kg⁻¹, respectively (Table 4). These values are much closer to the range of 10 - 13 % recommended by Medlicott et al. (1988). However, lower than what Makani (2009) stated as a threshold content for consumers' acceptance (13.5 %), and lower than Teixeira & Durigan (2011) reported for mature 'Palmer' mangoes (14.2 %). On the other hand, the significant differences in TA content might indicate that fruit with 110 g.kg⁻¹ DM (10.2 g.kg⁻¹) as less mature than fruit with 150 g.kg⁻¹ DM (7.6 g.kg⁻¹) because TA contents generally reduce during mango ripening (Jeronimo & Kanesiro, 2000; Paull & Duarte, 2011).

3.4. Sensorial evaluation

The untrained panel was able to differentiate the external and internal appearance of the 'Palmer' mango from both maturity stages (Figure 6).

The fruit with 150 g.kg⁻¹ DM were better evaluated than fruit with 110 g.kg⁻¹, either for external or for internal appearance during cold storage (0, 7, and 14 days), and after transfer to ambient (21 day), Figure 6B. The more advanced ripening stage in the fruit with 150 g.kg⁻¹ DM was more evident when the panelist evaluated the internal appearance at 7 days in the ambient as the pulp colour turned more yellow and the score 8 "like very much" was attributed to the fruit. On the other hand, for the fruit with 110 g.kg⁻¹ DM, the panelist attribute a score 5 "neither like nor dislike" (Figure 6A).

4. Conclusions

It was not possible to predict dry matter (DM) content of 'Palmer' mangoes harvest in 2016/2017 season using the PLS model developed in 2015/2016 (Santos Neto et al., 2017), and a new PLS model was developed ($RMSE_c$ of 10 g.kg⁻¹, $RMSE_{cv}$ of 10.5 g.kg⁻¹, R^2_c of 0.77, and R^2_P of 0.75). SVR models resulted in slightly better prediction ($RMSEP$ of 20.0 g.kg⁻¹, and R^2_P of 0.20). With the new PLS model was possible to sort 'Palmer' mangoes into two maturity stages (150 g.kg⁻¹ and 110 g.kg⁻¹) which resulted in quality differences mainly in relation to DM and SSC. Sensorially fruit with 150 g.kg⁻¹ DM content were better evaluated than fruit with 110 g.kg⁻¹, and scores of 8 "like very much" for internal appearance and 7 "like moderately", for external appearance were attributed. The elevated fresh weight loss (FLW) observed during cold storage affected fruit quality of fruit from both maturity stages (150 g.kg⁻¹ and 110 g.kg⁻¹). Finally, portable VIS-NIR spectrometer can be used to sort fruit according to maturity stages based on DM content and this classification affect fruit quality during cold storage as fruit with higher DM (150 g.kg⁻¹) presented better quality than fruit with lower DM (110 g.kg⁻¹).

Acknowledgment

The authors would like to thank Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) for funding this research (proc. 2015/03451-9) and for providing the Doctorate fellowship (proc. 2015/25631-9) of the first author. The authors also thank Tecnal equipamentos Científicos for lending the F-750 spectrometer, and Hermes and Rodrigo Pinhatti for providing the fruit.

References

- Awad, M. (1993). *Fisiologia pós-colheita de frutos*. São Paulo: Nobel.
- Anderson, N.T., Subedi, P.P., Walsh, K.B. (2017). Manipulation of mango fruit dry matter content to improve eating quality. *Scientia Horticulturae*, 226, 316-321.
- Abbott, J.A. (1999). Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 15, 207-225.

- AOAC. (1997). *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. (16th ed.). Arlington: Patrícia Cuniff.
- Betemps, D.L., Fachinello, J.C., Galarça, S.P. (2011). Espectroscopia do visível e infravermelho próximo (VIS/NIR) na avaliação da qualidade de mangas Tommy Atkins. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33, 306-313.
- Bleinroth, E.W., Zuchini, A.G., Pompeo, R.M. (1976). Determinação das características físicas e mecânicas de variedade de abacate e sua conservação pelo frio. *Coletânea ITA*, 7, 29-81.
- Brecht, J.K., & Yahia, E.M. (2009). Postharvest physiology. In: Litz, R.E. (Ed.), *The Mango 2nd Edition: Botany, Production and Uses* (pp.484-528). Wallingford: CAB International.
- Chitarra, M.I.F., & Chitarra, A.B. (2005). *Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio*. (2nd ed.). Lavras: UFLA.
- Corrêa, G.C. (1992). *Efeito da época de oferta e classificação, na qualidade de frutos de mangueira (Mangifera indica, L. cv. Tommy Atkins)*. Master Theses. Lavras: Universidade Federal de Lavras.
- Delwiche, S.R., Mekwatanakarn. W., Wang. C.Y. (2008). Soluble solids and simple sugars measurement in intact mango using near infrared spectroscopy. *HortTechnology*, 18, 410-416.
- Dutcosky, S.D. (2013). *Análise sensorial de alimentos*. Curitiba: PUCPRESS.
- Golic, M., & Walsh, K.B. (2006). Robustness of calibration models based on near infrared spectroscopy for the in-line grading of stone fruit for total soluble solids content. *Analytica Chimica Acta*, 555, 286–291.
- Jenonimo, E.M., & Kaneshiro, M.A.B. (2000). Efeito da associação de armazenamento sob refrigeração e atmosfera modificada na qualidade de mangas ‘Palmer’. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 22,237-243.
- Jha, S. N., Jaiswal, P., Narsaiah, K., Gupta, M., Bhardwaj, R., Singh, A. K. (2012). Non-destructive prediction of sweetness of intact mango using near infrared spectroscopy. *Scientia Horticulturae*, 138, 171-175.
- Jha, S.N., Chopra, S., Kingsly, A.R.P. (2007). Modeling of colour values for nondestructive evaluation of maturity of mango. *Journal of Food Engineering*, 78, 22–26.

- Jha, S.N., Narsaiah, K., Jaiswal, P., Bhardwaj, R., Gupta, M., Kumar, R., Sharma, R. (2014). Nondestructive prediction of maturity of mango using near infrared spectroscopy. *Journal of Food Engineering*, 124, 152-157.
- Kader, A.A. (2003). Postharvest biology and technology: an overview. In: Kader, A.A. (Ed.). *Postharvest technology of horticultural crops* (pp.39-47). Davis: University of California: Division of Agriculture and Natural Resources Publication.
- Khader, S.E.S.A. (1992). Effect of gibberellic acid and vapor gard on ripening, amylase and peroxidase activities and quality of mango fruits during storage. *Journal of Horticultural Science*, 67, 855-860.
- Lashbrooke, J., Costa, F., Aharoni, A. (2014). Making the surface of fresh fruit: synthesis, assembly and role of the cuticular layer. In: Nath, P., Bauzayan, M., Matto, A.K., Pech, J.C. (Eds.). *Fruit ripening, physiology, signaling and genomics* (pp.81-98). Oxfordshire: CABI International.
- Mahayothee, B., Leitenberger, M., Neidhart, S., Mühlbauer, W., Carle, R. (2004). Nondestructive determination of maturity of Thai mangoes by near-infrared spectroscopy. *Acta Horticulturae*, 645, 581–588.
- Makani, O.A. (2009). *Mango quality survey and sensory evaluation of mango (Mangifera indica L.) cultivars*. Master Thesis. Gatton: University of Queensland.
- Malevski, Y., Gomez Brito, L., Peleg, M., Silberg, M. (1977). External color as maturity index of mango. *Journal of Food Science*, 42, 1316-1318.
- Marques, E.J.N., Freitas, S.T., Pimentel, M.F., Pasquini, C. (2016). Rapid and non-destructive determination of quality parameters in the 'Tommy Atkins' mango using a novel handheld near infrared spectrometer. *Food Chemistry*, 197, 1207-1214.
- McGuire, R.G. (1992). Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27, 1254-1555.
- Medlicott, A.P., Bhogol, M., Reynolds, S.B. (1986). Changes in peel pigmentation during ripening of mango fruit (*Mangifera indica* var. Tommy Atkins). *Annals of Applied Biology*, 109, 651-656.
- Medlicott, A.P., Reynolds, S.B., New, S.W., Thompson, A.K. (1988). Harvest maturity effects on mango fruit ripening. *Tropical Agriculture*, 65, 153-157.
- Megale, J. (2002). *Influência do estágio de maturação e da condição de armazenagem em parâmetros sensoriais, químicos e microbiológicos de manga*,

cultivar Palmer, semi-processada. Master Thesis. Campinas: Universidade Estadual de Campinas.

Melo Neto, M.L., Christoffoleti, P.J., Sigrist, J.M.M., Alves, R.M.V. (1999). Utilização de embalagens plásticas e refrigeração na conservação de manga (*Mangifera indica* L.) cv. Palmer. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 21, 160-165.

Miltra, S.K., & Baldwin, E.A. (1997). Mango, In: Miltra, S.K. (Ed.). *Postharvest physiology and storage of tropical and subtropical fruit*. Wallingford: CAB International.

Mitcham, E.J., & McDonald, R.E. (1992). Cell wall modification during ripening of 'Keitt' and 'Tommy Atkins' mango fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Sciences*, 117, 919-924.

Mohammed, M., & Brecht, J.K. (2002). Reduction of chilling injury in 'Tommy Atkins' mangoes during ripening. *Scientia Horticulturae*, 95, 297–308.

Nordey, T., Joas, J., Davrieux, F., Chillet, M., Léchaudel, M. (2017). Robust NIRS models for non-destructive prediction of mango internal quality. *Scientia Horticulturae*, 216, 51–57.

Nicolaï, B.M., Beullens, K., Bobelyn, E., Peirs, A., Saeys, W., Theron, K.I., Lammertyna, J. (2007). Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest Biology and Technology*, 46, 99–118.

O'Hare, T.J. (1995). Effect of ripening temperature on quality and composition changes of mango (*Mangifera indica* L.) cv. Kensington. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 35, 259-263.

Pantastico, Er.B., Chattopadhyay, T.K., Subramanyam, H. (1979). Almacenamiento y operaciones comerciales de almacenaje. In: Pantastico, Er. B. (Ed.). *Fisiología de la postrecolección, manejo y utilización de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales* (pp.375-405). México: Compañía Editorial Continental, S. A.

Pasquini, C. (2003). Near Infrared Spectroscopy: Fundamentals, Practical Aspects and Analytical Applications. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 14, 198-219.

Paull, R.E., & Duarte, O. (2011). Tropical fruits, (2nd ed.). Wallingford: CAB International.

- Peirs, A., Tirry, J., Verlinden, B., Darius, P., Nicolaï, B.M. (2002). Effect of biological variability on the robustness of NIR-models for soluble solids content of apples. *Postharvest Biology and Technology*, 28, 269–280.
- Rungpichayapichet, P., Mahayothee, B., Nagle, M., Khuwijitjaru, P., Müller, J. (2016). Robust NIRS models for non-destructive prediction of postharvest fruit ripeness and quality in mango. *Postharvest Biology and Technology*, 111, 31-40.
- Santos Neto, J.P., Assis, M.W.D., Casagrande, I.P., Cunha Júnior, L.C., Teixeira, G.H.A. (2017). Determination of ‘Palmer’ mango maturity indices using portable near infrared (VIS-NIR) spectrometer. *Postharvest Biology and Technology*, 130, 75–80.
- Sañudo, R., Bustillos, R.J.A., Garcia, L.P. de., Molina, E.B., Nuño, S.O., Angel, D.N. (1997). *Manejo postcosecha del mango*. México: EMEX.
- Saranwong, S., Sornsrivichai, J., Kawano, S. (2001). Improvement of PLS calibration for Brix value and dry matter of mango using information from MLR calibration. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 9, 287-295.
- Saranwong, S., Sornsrivichai, J., Kawano, S. (2004). Prediction of ripe-stage eating quality of mango fruit from its harvest quality measured nondestructively by near infrared spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*, 31, 137-145.
- SAS. (1999). *SAS User's guide: statistics*, (8th ed.). Cary: SAS Institute Inc..
- Schmilovitch, Z., Mizrach, A., Hoffman, A., Egozi, A., Fuchs, Y. (2000). Determination of mango physiological indices by near-infrared spectrometry. *Postharvest Biology and Technology*, 19, 245-252.
- Strohecker, R., & Henning, H.M. (1967). *Análises de vitaminas: métodos comprovados*. Madrid: Paz Montolvo.
- Subedi, P.P., & Walsh, K.B. (2011). Assessment of sugar and starch in intact banana and mango fruit by swnirs spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*, 62, 238-245.
- Subedi, P.P., Walsh, K.B., Owens, G. (2007). Prediction of mango eating quality at harvest using short-wave near infrared spectrometry. *Postharvest Biology and Technology*, 43, 326–334.
- Teixeira, G.H.A., & Durigan, J.F. (2011). Storage of ‘Palmer’ mangoes in low-oxygen atmospheres. *Fruits*, 66, 279-289.

- Teixeira, G.H.A., Santos, L.O., Cunha Júnior, LC., Durigan, J.F. (2018). Increasing levels of carbon dioxide (CO₂) associated with low-oxygen (O₂) do not affect the quality of 'Palmer' mangoes during controlled atmosphere storage. *Journal of Food Science and Technology*, 55, 145-156.
- Thompson, A.K. (1971). The storage of mango fruits. *Tropical Agriculture*, 48, 63-70.
- Valente, M., Leardi, R., Self, G., Luciano, G., Pain, J.P. (2009). Multivariate calibration of mango firmness using vis/nirs spectroscopy and acoustic impulse method. *Journal of Food Engineering*, 94, 7-13.
- Walsh, K.B. (2016). *Dry matter matters*. <<http://www.industry.mangoes.net.au/resource-collection/2016/3/6/dry-matter-matters>>. Accessed in March 2017.
- Walsh, K.B., Golic, M., Greensill, C.V. (2004). Sorting of fruit using near infrared spectroscopy: application to a range of fruit and vegetables for soluble solids and dry matter content. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 12, 141-148.
- Walsh, K.B., & Subedi, P.P. (2016). In-field monitoring of mango fruit dry matter for maturity estimation. *Acta Horticulturae*, 1119, 273-278.
- Wang, Y., Veltkamp, D.J., Kowalski, B.R. (1991). Multivariate instrument standardization. *Analytical Chemistry*, 63, 2750–2756.
- Watkins, C., Harman, J. (1981). Use of penetrometer to measure flesh firmness of fruit. *Orchardist New Zealand*, 54, 14-16.
- Wills, R., McGlasson, B., Graham, D., Joyce, D. (1998). *Postharvest: an introduction to the physiology & handling of fruit, vegetables & ornamentals*. Sydney: UNSW Press.
- Yahia, E.M. (2011). Mango (*Mangifera indica* L.). In: Yahia, E.M. (Ed.). *Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits, Volume 3: cocona to mango* (pp.492-565). Woodhead Publishing.

Tables

Table 1 Descriptive statistics of the two 'Palmer' mangoes maturity stages established based on dry matter (DM) content of fruit harvested in 2016/2017 season.

Maturity stage	Total	Sorted	Mean	Maximum	Minimum	SD^a
150 g.kg ⁻¹ DM	430	66	14.62	15.99	14.01	0.51
110 g.kg ⁻¹ DM	430	70	11.61	11.99	10.06	0.36

^aSD = standard deviation.

Table 2. Meteorological data of 2015/2016 and 2016/2017 mango harvest seasons of Jaboticabal – SP.

Season	Pressure (hPa)	T_{max} (°C)	T_{min} (°C)	T_{mean} (°C)	RH (%)	Precipitation (mm)	Sunlight (h)
<i>2015/2016</i>	942.50	30.89	18.87	23.82	72.62	192.30	201.19
SD*	1.84	1.88	2.71	2.00	9.29	145.84	38.73
<i>2016/2017</i>	942.15	30.83	17.62	23.20	68.41	116.31	231.47
SD*	0.21	1.32	2.90	1.97	7.30	86.25	37.32

*Standard deviation.

Table 3. Physico-chemical quality parameters of ‘Palmer’ mangoes of two maturity stages (150 g.kg⁻¹ and 110 g.kg⁻¹ DM) stored at 12.3±0.4°C and 69.9±4.1% RH for 14 days.

Main effects	L*	a*	b*	Hue ^a	C ^b	pH	SSC (%) ^c	TA ^d	SSC/TA	Firmness (N)	DM (g.kg ⁻¹) ^e
Maturity stages (M)											
110 g.kg ⁻¹ DM	38.68 a	-4.41	13.08 a	264.45	39.48 a	2.92	7.39 b	0.81	9.71	127.4	122.9 b
150 g.kg ⁻¹ DM	36.55 b	-1.83	11.39 b	268.49	37.41 b	2.99	7.92 a	0.73	12.48	124.2	134.4 a
F Test	4.88*	3.37 ^{NS}	5.89*	3.15 ^{NS}	4.16*	3.81 ^{NS}	3.45*	4.19 ^{NS}	1.88 ^{NS}	0.48 ^{NS}	62.5*
Storage (S)											
0	37.93	-3.74	12.74	265.51	38.66	3.25 a	6.22 c	0.64 b	10.38	128.9	124.2
7	37.52	-2.36	12.35	267.80	38.59	3.28 a	6.85 b	0.79 a	11.26	121.8	130.1
14	37.20	-3.02	11.44	266.49	37.89	2.35 b	9.95 a	0.88 a	11.92	126.4	132.7
F Test	0.16 ^{NS}	0.53 ^{NS}	0.67 ^{NS}	0.54 ^{NS}	0.18 ^{NS}	188.86**	156.43**	8.90**	0.19 ^{NS}	0.98 ^{NS}	8.6 ^{NS}
Interaction											
M x D	0.80 ^{NS}	2.09 ^{NS}	2.53 ^{NS}	2.64 ^{NS}	0.79 ^{NS}	2.26 ^{NS}	0.07 ^{NS}	4.04 ^{NS}	1.74 ^{NS}	0.91 ^{NS}	0.44 ^{NS}

L* = luminosity, ^a hue angle, ^b chromaticity, ^c soluble solids content, ^d titratable acidity, ^e dry matter. Average values with the same letter within the columns are not statistically different by Tukey's test (p<0.05). Values in the column without letter are not statistically different by Tukey's test (p<0.05). NS = no significant.

Table 4. Physico-chemical quality parameters of 'Palmer' mangoes of two maturity stages (150 g.kg⁻¹ and 110 g.kg⁻¹ DM) stored at 12.3±0.4°C and 69.9±4.1% RH for 14 days and seven days at ambient conditions (21.6±4.2°C and 67.6±4.5% UR).

Main effects	L*	a*	b*	Hue ^a	C ^b	pH	SSC (%) ^c	TA ^d	SSC/TA	Firmnes s(N)	DM (g.kg ⁻¹) ^e
110 g.kg ⁻¹ DM	37.43	-2.78	11.71	266.71	38.14	2.42	11.47	1.02 a	11.92	57.25	130.1
150 g.kg ⁻¹ DM	35.90	1.41	9.45	274.08	36.74	2.52	11.61	0.76 b	15.84	73.55	143.0
Teste F	0.29 ^{NS}	1.24 ^{NS}	0.84 ^{NS}	0.25 ^{NS}	0.99 ^{NS}	3.81 ^{NS}	0.05 ^{NS}	5.51*	2.46 ^{NS}	2.05 ^{NS}	0.56 ^{NS}

L* = luminosity, ^a hue angle, ^b chromaticity, ^c soluble solids content, ^d titratable acidity, ^e dry matter. Average values with the same letter within the columns are not statistically different by Tukey's test (p<0.05). Values in the column without letter are not statistically different by Tukey's test (p<0.05). NS = no significant.

Figures

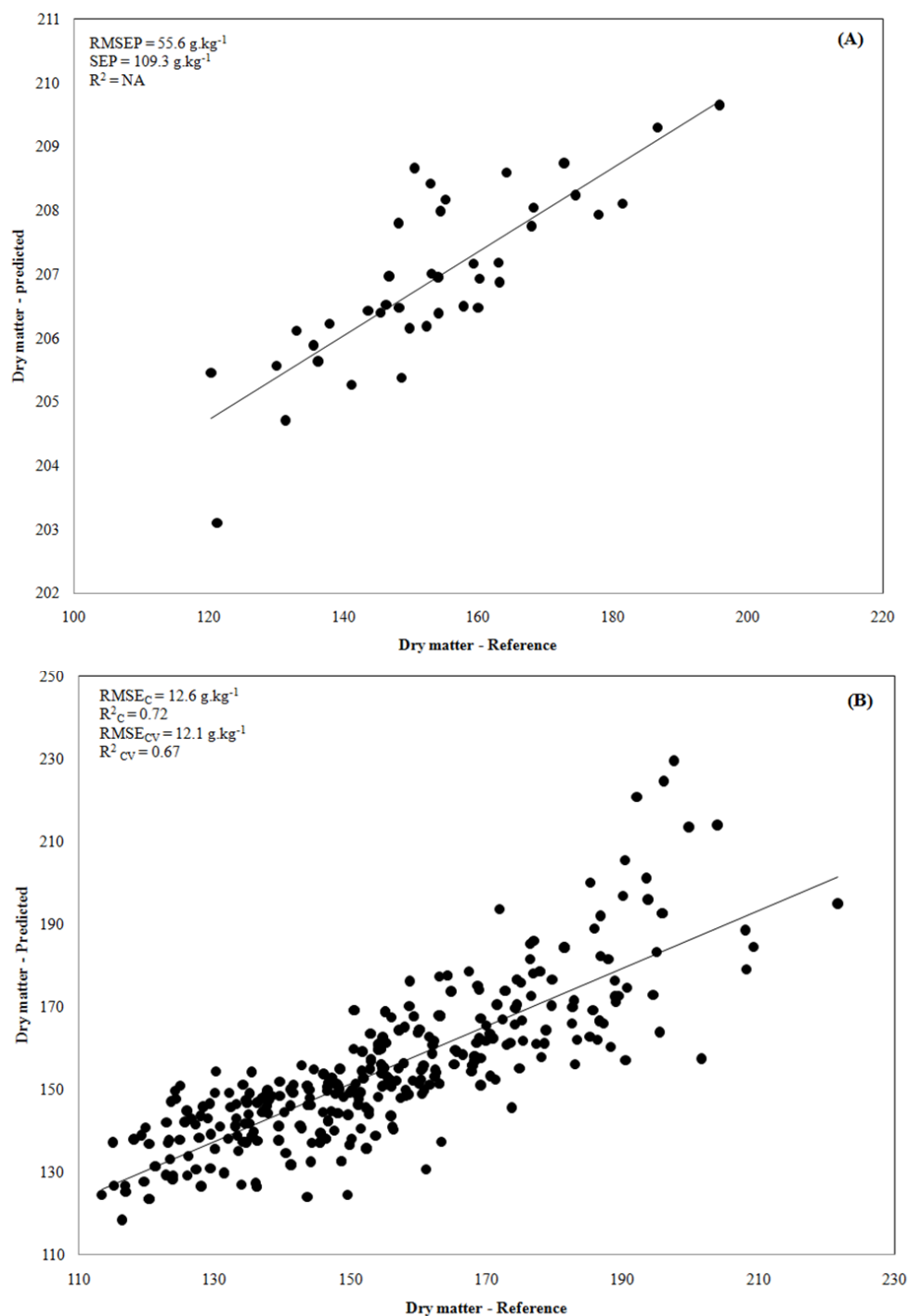


Figure 1. Dry matter prediction performance of the PLS model developed by Santos Neto et al. (2017) using 'Palmer' mangoes from 2016/2017 **(A)**. Predicted and reference DM content obtained with the new PLS model by incorporating the VIS-NIR spectra from 2016/2017 harvest **(B)**.

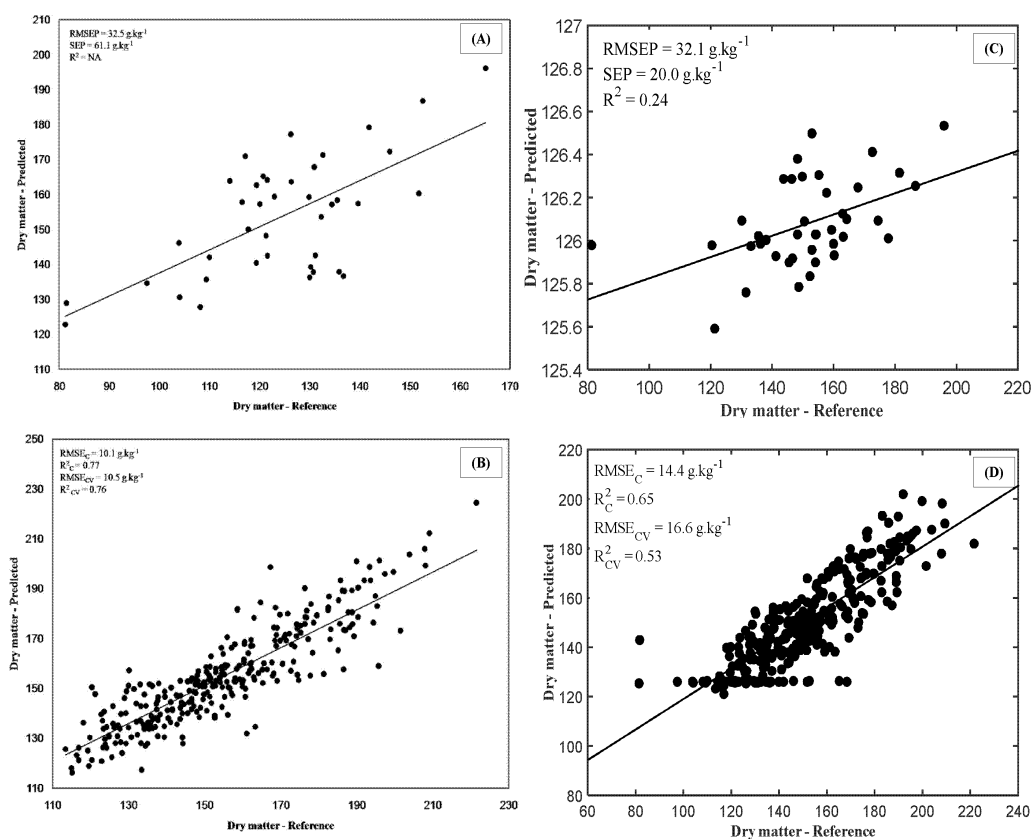


Figure 2. Dry matter (DM) prediction performance of the PLS model developed by incorporating the NIR spectra from 2016/2017 **(A)**. Predicted and reference DM content obtained with the new PLS model by incorporating the VIS-NIR spectra from the first and second 2016/2017 harvests **(B)**. Dry matter prediction performance of the SVR model developed by incorporating the VIS-NIR spectra from 2016/2017 **(C)**. Predicted and reference DM content obtained with the new SVR model by incorporating the VIS-NIR spectra from the first and second 2016/2017 harvests **(D)**.

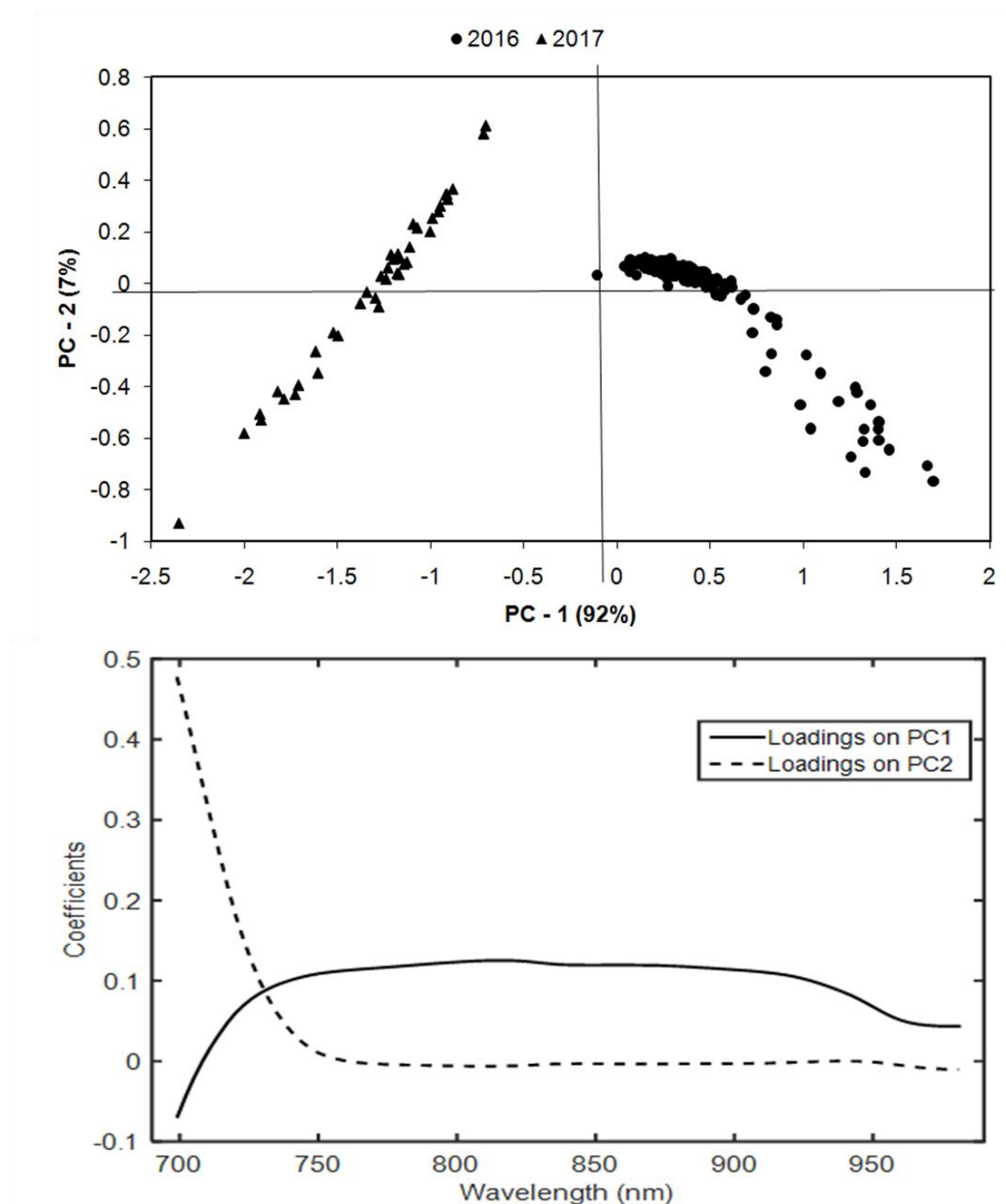


Figure 3. Scores of the principal component 1 (PC₁) and 2 (PC₂) obtained with VIS-NIR spectra (699-981 nm) without pre-processing of intact 'Palmer' mangoes harvested in 2015/16 and 2016/17 (A), loadings on the principal component 1 (PC1) and 2 (PC1) (B). Shaded: region with significant p values ($P < 0.05$, 95% confidence level) and the PCA loadings (B).

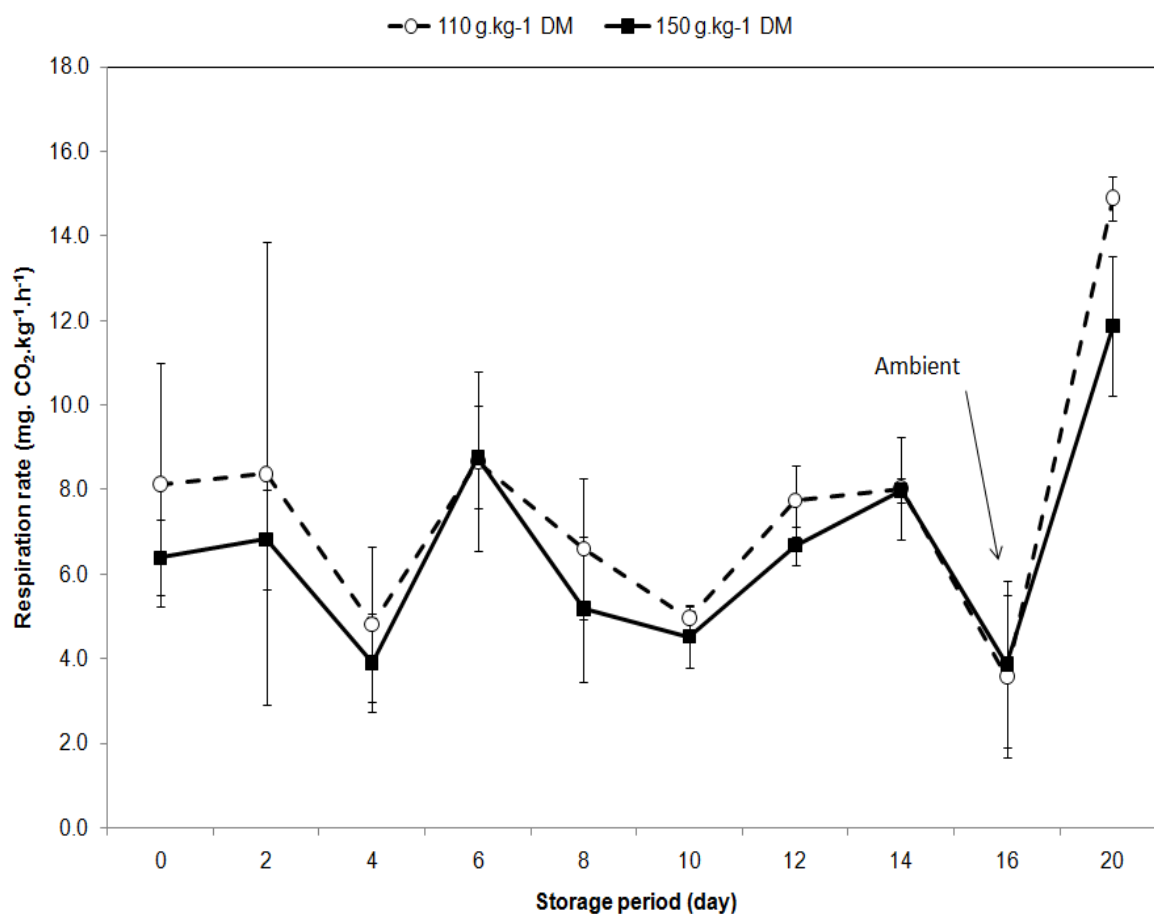


Figure 4. Respiration rate (mg.CO₂.kg⁻¹.h⁻¹) of 'Palmer' mangoes sorted into two maturity stages (150 g.kg⁻¹ and 110 g.kg⁻¹) during cold storage (12.3 ± 0.4 °C and 69.9 ± 4.1 % RH) for 14 days and under ambient conditions (21.6 ± 4.2 °C and 67.6 ± 4.5 % RH) for 7 days. The vertical bars indicate standard deviations of three repetitions.

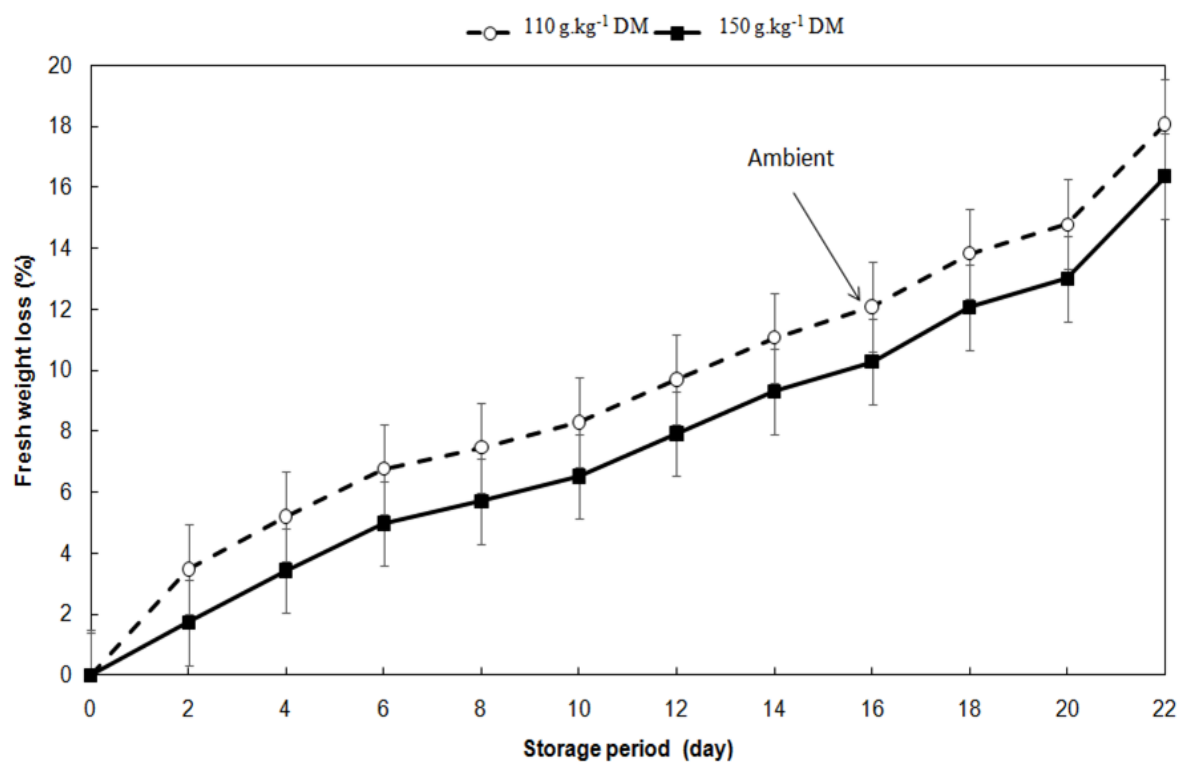


Figure 5. The fresh weigh loss (FWL - %) of 'Palmer' mangoes sorted into two maturity stages (150 g.kg⁻¹ and 110 g.kg⁻¹) during cold storage (12.3 ± 0.4 °C and 69.9 ± 4.1% RH) for 14 days and under ambient conditions (21.6 ± 4.2 °C and 67.6 ± 4.5% RH) for 7 days. The vertical bars indicate standard deviations of three repetitions.

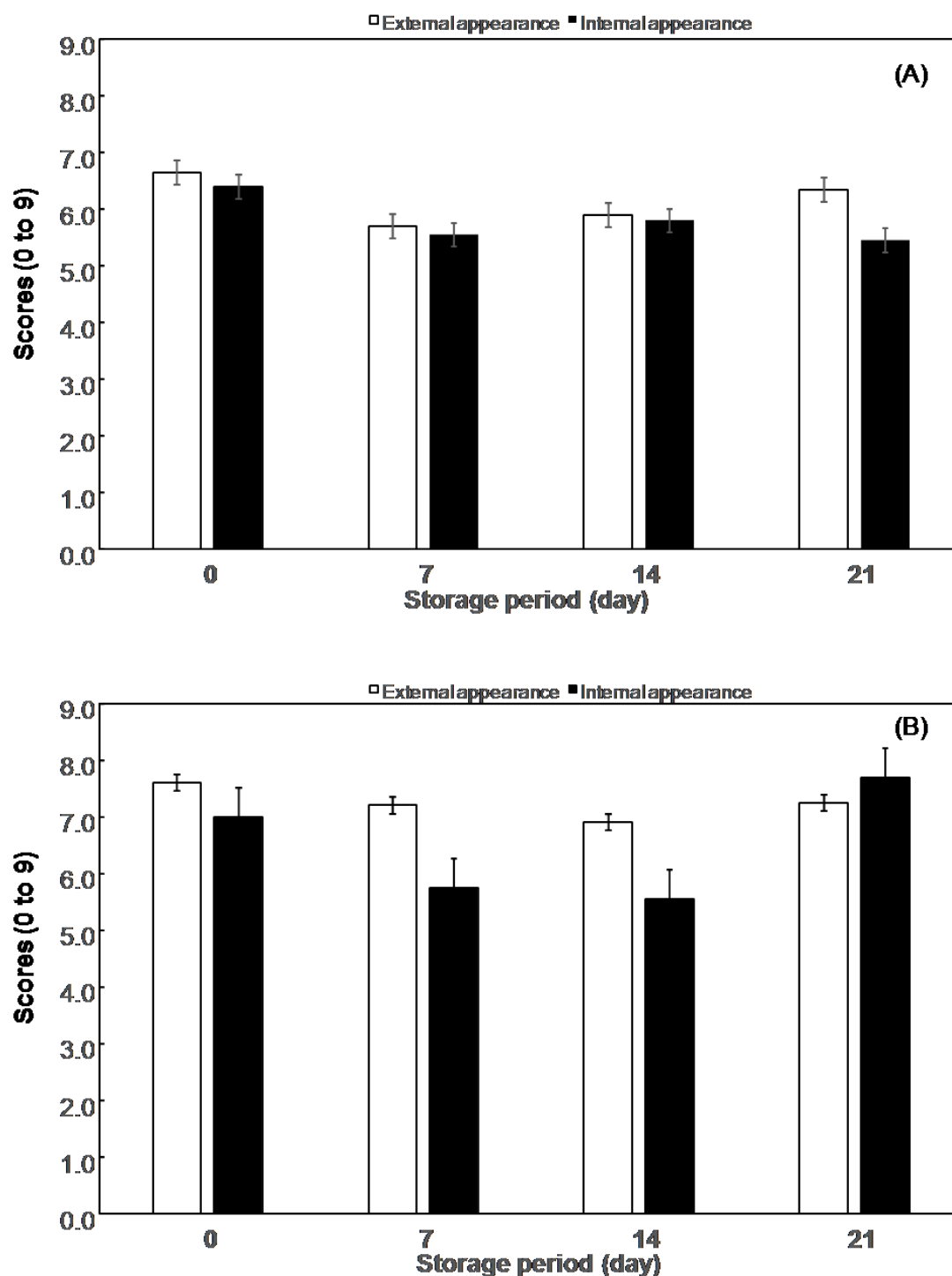


Figure 6. Sensorial evaluation of 'Palmer' mangoes sorted base on dry matter content (A) 110 g.kg⁻¹ and (B) 150 g.kg⁻¹, during in cold storage (12.3 ± 0.4 °C and $69.9 \pm 4.1\%$ RH) for 14 days and under ambient conditions (21.6 ± 4.2 °C and $67.6 \pm 4.5\%$ RH) for 7 days. The vertical bars indicate standard deviations of 20 repetitions.

CAPÍTULO 4 – Postharvest behavior of mangoes nondestructively sorted for dry matter content during and after storage under controlled atmosphere

Abstract

As maturity plays an important role during controlled atmosphere (CA) storage, the objective of this study was to evaluate if 'Palmer' mangoes sorted based on visual characteristics behave differently during CA storage than mangoes sorted based on 150 g kg⁻¹ dry matter (DM) content, which was determined using portable near-infrared (Vis-NIR) spectrometer. Partial least squares regression (PLSR) model developed with fruit from 2015/2016 and 2016/2017 seasons from Cândido Rodrigues, São Paulo State, Brazil, was able to adequately predict DM content from mangoes produced in different regions (Petrolina – PE), but with high root mean square error of prediction (RMSEP = 20.2 g kg⁻¹) and low R²_P (0.19). Therefore, Vis-NIR spectra from mangoes produced in Petrolina – PE were incorporated into the data set and a new model was developed (RMSE_v = 13.8 g kg⁻¹, and R²_v = 0.63). With the new PLSR model it was possible to sort mangoes produced in Petrolina – PE with 150 g kg⁻¹ DM, confirming the robustness of the model. Quality differences were not observed between fruit sorted based on 150 g kg⁻¹ DM and based on visual appearance (traditional harvest). However, the mangoes sorted based on 150 g kg⁻¹ DM presented lower standard deviation in the DM, indicating a more homogeneous fruit batch. Finally, the use of portable Vis-NIR spectrometer allows a more uniform sorting of fruit based on a pre-determined DM content, which can be used to improve the quality of mangoes that reach the consumer.

Keywords: *Mangifera indica* L., Palmer mango, chemometrics, partial least squares regression, dry matter, portable visible-near infrared (Vis-NIR) spectrometer.

1. Introduction

Brazil is the world's seventh largest producer of mangoes (FAOSTAT, 2012; Miltra, 2016), with a production of 976,815 metric tons in an area of 64,305 hectares in 2015 (IBGE, 2015). Mango is the most exported fruit from Brazil with 789.88 tons exported in 2016, which generated an estimated income of USD 735,487,535 (MAPA, 2016).

Traditionally, mangoes are harvested when they are physiologically mature, which is determined based on visual appearances (color, fullness of cheeks, and hardened endocarp), and are immediately transported to the packing-house where fruit are unloaded into a tank with chlorinated (0.1 g L^{-1}) water (Neto et al., 1994). Defective fruit are removed on a conveyor belt and the peduncle is trimmed to a length of 5 cm. To avoid sapburn, the fruit are immersed in calcium hydroxide solution (4.0 g L^{-1}) for up to 4 minutes. Fruit are then waxed with carnauba wax, dried in a hot air tunnel ($45 \text{ }^{\circ}\text{C}$) and brushed. Subsequently, mangoes are sorted based on defects and weight, put into carton box trays ($3.50 \times 2.85 \times 1.05 \text{ cm}$) with 4 kg capacity, palletized, and air cooled for 4-6 h. Shipments to international markets are generally sent by air and/or ship freight. Although the traditional handling follows the technical postharvest recommendations for mango handling (Neto et al., 1994; Assis, 2004; Kader, 2003a), it does not sort the fruit based on internal chemical characteristics, which might be the cause of quality problems in export markets. For example, in the USA market, the quality of Brazilian 'Tommy Atkins' mangoes were considered inferior to that of Mexican fruit (Makani, 2013), mainly because of lower soluble solids content (SSC), which affects consumers preferences.

As the content of dry matter (DM) in fruit is well correlated to fruit SSC and eating quality (Whiley et al., 2006; Makani, 2013), the Australian Mango Industry Association (AMIA) has recommended minimum DM levels (AMIA, 2016). Owen and Moore (2013) recommended a DM content of 140 g kg^{-1} , but this value has been recently increased to 150 g kg^{-1} for 'Kensington Pride', 'Calypso', 'R2E2', and 'Celebration' (Walsh, 2016). To sort mangoes using DM and/or other quality parameters prior export, fruit evaluation needs to be done with non-destructive methods, and near-infrared spectroscopy (NIRS) has long been recommended for this purpose (Abbott, 1999). Several studies reported the use of bench top NIR spectrometers to assess SSC, DM, titratable acidity (TA), firmness, starch content,

and other quality parameters in mangoes (Guthrie and Walsh, 1997; Schmilovitch et al., 2000; Saranwong et al., 2001; Mahayothee et al., 2004; Saranwong et al., 2004; Subedi et al., 2007; Delwiche et al., 2008; Valente et al., 2009; Betemps et al., 2011; Subedi and Walsh, 2011; Jha et al., 2012). Portable near infrared (NIR) spectrometers have also been used to estimate quality parameters in mangoes of different cultivars (Walsh and Subedi, 2016; Rungpichayapichet et al., 2016; Marques et al., 2016; Santos Neto et al., 2017; Nordey et al., 2017) and are becoming more important in field applications.

At ambient temperature, mango ripens rapidly, and fruit quality can be maintained no longer than 8 d (Kader, 2003a). Low temperatures can extend mango shelf-life to around 16 d. However, mango preservation in traditional refrigeration systems is not completely safe because mangoes are susceptible to chilling injury at temperatures lower than 13 °C (Miltra and Baldwin, 1997). Controlled atmosphere (CA) in association with low temperature can improve mango storability and maintain fruit quality during long term storage (Do and Salunkhe, 1979; Kader, 2003a; Kader, 2003b). Storage under CA has been used to extend the shelf-life of a wide range of mango cultivars, including 'Kensington Pride' (McLauchan and Barker, 1992), 'Kent' (Trinidad et al., 1997; Bender and Brecht, 2001), 'Tommy Atkins' (Bender and Brecht, 2001; Lizada and Ochagavia, 1997), and 'Haden' (Bender and Brecht, 2001). CA with 5 kPa oxygen (O₂) and 5 kPa carbon dioxide (CO₂) can extend mango shelf-life (Kader, 1986). For instance, Lizada et al. (2004) reported shelf-life extension of up to 31 d for 'Tommy Atkins'.

An optimal CA recommendation is not yet available for 'Palmer' mangoes. Teixeira and Durigan (2011) reported that 'Palmer' mangoes can be stored at 12.8 °C in atmospheres with 1-10 kPa O₂ for up to 28 d. Increasing CO₂ concentration up to 25 kPa did not affect 'Palmer' mangoes during storage (Teixeira et al., 2018). Few of the most significant effects of CA in mango are the reduction in the respiration rate, delayed ripening, and maintenance of overall fruit quality. Therefore, maintaining a CA is a promising approach to improve the shipping of 'Palmer' mangoes through maritime transport to distant markets, which may take three or four weeks.

Estimation of the maturity stage of mangoes by means of portable Vis-NIR spectroscopy should be accurate as maturity plays an important role during CA storage. Most studies using CA to extend mango shelf-life were performed with hard mature green fruit (Singh and Zaharah, 2015). Although studies have reported the use of portable Vis-NIR spectrometers to estimate maturity in mango fruit, how fruit are sorted by NIRS preform in CA is not yet known. Therefore, the objective of this study was to evaluate whether during CA storage mangoes sorted based on visual characteristics differ from mangoes sorted with 150 g kg⁻¹ DM as a parameter, which is determined using the calibration models for DM content prediction of 'Palmer' mangoes developed by Santos Neto et al. (2017a, b), and to evaluate the quality changes during the storage period of 30 d, which is similar to the time required to deliver maritime shipments to distant markets.

2. Material and methods

2.1. Plant material

Mangoes (*Mangifera indica* L. 'Palmer') were harvested from the commercial orchards of the Agrobbras Agrícola Tropical do Brasil S.A., located at Petrolina – PE (09°23'55" latitude South, 40°30'03" longitude West, 376 m altitude) in October 2017.

2.2. Dry matter prediction using portable Vis-NIR spectrometer

2.2.1 Acquisition of Vis-NIR spectra

A total of 420 mangoes were harvested to obtain the Vis-NIR spectra using a portable F-750 (Felix Instruments, Washington, USA), which is equipped with a Carl Zeiss MMS-1 NIR spectrometer. The spectra were obtained on the opposite sides of the equatorial region of the fruit in the wavelength range of 310 to 1100 nm, using interactance as optic configuration and a resolution of 8 - 13 nm, according to Subedi et al. (2007) and Santos Neto et al. (2017).

2.2.2. Reference analysis

For the determination of DM, samples of 27 mm in diameter and with 10 mm of depth were collected from the same location where the Vis-NIR spectra were obtained (Subedi et al., 2007). Epidermis (1-2 mm thick) was removed from the fruit using a peeler and the DM content was determined by recording the dry weight of the samples after drying them in an oven at 105 °C for 48 h (Santos Neto et al., 2017).

2.2.3. Prediction of dry matter content by chemometry

Prior to the main harvest, 43 mangoes were obtained in Petrolina – PE and their Vis-NIR spectra and DM content were recorded. These spectra were used as a prediction set based on the partial least squares regression (PLSR) model developed in 2015/2016 and 2016/2017 harvest seasons in Cândido Rodrigues, São Paulo State (Santos Neto et al., in press). These spectra were pre-processed using different techniques and their combination, such as multiplicative scatter correction (MSC) (Isaksson and Tormod, 1988); first and second derivatives of Savitsky-Golay (SG-1 and SG-2) (Savitsky and Golay, 1964); MSC + SG-1; MSC + SG-2; standard normal variate (SNV) (Barnes et al., 1993; Naes et al., 2002), De-Trend (Barnes et al., 1989; Barnes et al., 1993); SNV + De-Trend. All the analyses were carried out using Unscrambler®, version X.3 (CAMO, Oslo, Norway). The performance of each pre-processing was evaluated based on the root mean square error of calibration ($RMSE_C$), validation ($RMSE_V$), prediction ($RMSE_P$), and the determination coefficient (R^2) (Nicolai et al., 2007).

To improve the robustness of the PLSR model for DM prediction, the fruit from other production region located in Petrolina – PE were added to the analysis as a source of variation. The Vis-NIR spectra of 43 mangoes were incorporated into the dataset and a new PLSR model was developed using full cross validation in the spectral range of 699-981 nm by either applying or not applying the pre-processing already described (Santos Neto et al., 2017). This new PLSR model was used to sort the mangoes based on 150 g kg⁻¹ DM for the CA storage experiment.

2.3. CA storage for CA storage

Immediately after harvest, mangoes ($n = 420$) were sorted based on 150 g kg^{-1} DM threshold using a portable near infrared spectrometer F-750 (Felix Instruments, Washington, USA), according to the recommendations reported by Walsh (2016). The fruit were transported to Jaboticabal – SP using air freight. At arrival, the fruit were divided into following two treatments: *i.* fruit were visually sorted as suitable for export markets according to the traditional handling used by the mango growers (color and fullness of cheeks) ($n = 43$), and *ii.* fruit were non-destructively sorted using F-750 portable Vis-NIR spectrometer with $150 \pm 13.8 \text{ g kg}^{-1}$ DM content ($n = 43$).

Fruit were pre-cooled for 10 h at 13°C in a cold room before storage in CA cabinets of Fruit Control Equipments (model Venezia PCM 1.000, Milan, Italy). Based on previous results obtained for the storage of ‘Palmer’ mangoes under CA (Teixeira and Durigan, 2011; Teixeira et al., 2018), the fruit were stored in atmospheres containing $5 \text{ kPa O}_2 + 5 \text{ kPa CO}_2$ for 30 d at $14.2 \pm 2.3^\circ\text{C}$ and $92.6 \pm 2.8\%$ RH. The levels of oxygen (O_2) and carbon dioxide (CO_2) were maintained using nitrogen (White Martins Gases Industriais Ltda., Brazil) and CO_2 (Conservare®, White Martins Gases Industriais Ltda., Brazil) injections, which were controlled by the software Swinglos® (Fruit Control Equipments, Milan, Italy). Ethylene (C_2H_4) levels were maintained close to 0.0 kPa using a potassium permanganate absorber also controlled by the software Swinglos®. After 30 d of storage under CA the mangoes were transferred to ambient conditions ($23.7 \pm 1.1^\circ\text{C}$ and $73.4 \pm 15.1\%$ RH) for four days to simulate commercialization.

The experiment was set up as a completely randomized design (CRD) in a factorial arrangement with two factors: *i.* visual sorting and sorting based on 150 g kg^{-1} DM, and *ii.* 0, and 30 d CA storage, with 10 repetitions (mangoes). After the fruit were transferred to room temperature a CRD with 2 treatments (visual sorting and 150 g kg^{-1} DM) and 10 repetitions (mangoes) was followed.

2.4. Evaluation of the fruit quality

Fruit quality was evaluated at harvest (day 0), after 30 d of CA storage (day 30), and after 30 d plus 4 d at ambient conditions, as follows:

Fresh weight loss. Fruit fresh weight loss (FWL) was determined based on the difference in the fruit mass at different timepoints (0 d, 30 d in CA storage, and 30 d plus 4 d at ambient conditions). The fruit mass was determined using a semi-analytical balance with a precision of 0.01 g (Marte, model AS 2000, São Paulo, Brazil).

Color. Skin color was determined using a Minolta colorimeter (Model CR-400, Minolta Corp., Osaka, Japan) with an 8 mm aperture. The L^* , a^* , b^* color parameters were used to obtain lightness (L^*), chroma (C^*) and hue angle (McGuire, 1992). Two readings were taken from each fruit on opposite sides of the equatorial region.

Firmness. Firmness of the mango flesh was determined on opposite sides on the equatorial region of each fruit after removing the skin, according to Watkins and Harman (1981). An Effegi Fruit Tester penetrometer (Bishop FT 327 Penetrometer, Alfonsine, Italy) with an 8.0 mm tip was used and the results were expressed in newton (N).

Physico-chemical analysis. In each repetition, fruit flesh without skin was homogenized, juiced, and used to determine soluble solids content (SSC) using a digital refractometer PR-101 α (Atago, Tokyo, Japan) according to the AOAC method 920.151 (AOAC, 1997). Titratable acidity (TA) was determined using AOAC method 932-12 (AOAC, 1997). The SSC/TA ratio was obtained, and the pH was determined (AOAC, 1997-proc 945-27). Vitamin C content was determined using Tillmans method (Strohecker and Henning, 1967).

Sensory evaluation. The external and internal appearances of the mangoes were evaluated by an untrained sensory panel ($n = 20$) using a hedonic scale of the following 9 points: 9 - like extremely, 8 - like very much, 7 - like moderately, 6 - like slightly, 5 - neither like nor dislike, 4 - dislike slightly, 3 - dislike moderately, 2 - dislike very much, and 1 - dislike extremely. This evaluation was carried out at different timepoints (0, 30 d, and after 4 d at room temperature) (Dutcosky, 2013).

2.5. Statistical analysis

Analysis of variance (ANOVA) was performed with the obtained data using Statistica (Release 4.5, StatSoft, Inc., EUA) and the means were compared using Tukey's test at the $\alpha = 0.05$.

3 Results and discussion

3.1. Prediction of the DM using portable Vis-NIR

The PLSR model used to predict the DM content of the first 43 mangoes had $RMSE_C$ of 10.1 g kg⁻¹, $RMSE_{cv}$ of 10.5 g kg⁻¹, R^2_c of 0.77, and R^2_P of 0.75. Using this model to predict the DM content of mangoes produced in Petrolina – PE without pre-processing the Vis-NIR spectra, the $RMSE_P$ values increased to 20.2 g kg⁻¹ and the R^2 reduced to 0.19 (Figure 1). The decline in the performance was due to the differences in the fruit batches, as the model developed by Santos Neto et al. (in press) was built only with 'Palmer' mangoes produced in Cândido Rodrigues – SP. Wang et al. (1991) reported that the differences related to fruit batches are crucial factors in NIRS, as fruit have a large variation. In addition, seasonal variability and maturity stages also affect the performance of NIRS model (Peirs et al., 2002).

To reduce the $RMSE_P$ value, the Vis-NIR spectra of 43 fruit harvested in Petrolina - PE were incorporated into the calibration set obtained in 2015/2016 and 2016/2017 and a new PLSR model was developed (Figure 2). By incorporating the Vis-NIR spectra the values of $RMSE_C$ reduced to 12.2 g kg⁻¹, the $RMSE_{cv}$ to 13.8 g kg⁻¹, and the R^2_c increased to 0.70 (Figure 2). Although slightly inferior than the PLSR model reported by Santos Neto et al. (in press), the new model was more robust as it incorporated a new source of variability coming from the mangoes produced in Petrolina - PE.

A total of 420 mangoes were harvested, 210 fruit based on the traditional sorting by visual appearance and 210 based on DM content of 150 g kg⁻¹. However, only 61 mangoes from 210 were sorted based on this criterion (Table 1). To sort the mangoes based on DM, the value of 150 g kg⁻¹ DM content plus or minus the new $RMSE_v$ value of 13.8 g kg⁻¹ was used. Thus, the fruit with DM in the range of 136.2 g

kg⁻¹ to 163.8 g kg⁻¹ were sorted as belonging to the 150 g kg⁻¹ DM treatment. It is important to note that when the mangoes were sorted based on the DM content of 150 g kg⁻¹, only 29.05 % fruit were classified into this category, whereas the remaining 70.97 % were disposed. On the other hand, for the traditional handling no fruit was disposed. As reported by Subedi et al. (2007) and Santos Neto et al. (in press), this result highlights the importance of the use of portable Vis-NIR to sort mangoes in the field, as only high-quality fruit would be harvested, packed, transported, and offered to consumers.

Principal component analysis (PCA) was carried out to assess the difference between the mangoes produced in Petrolina – PE in relation to Cândido Rodrigues – SP (Figure 3). The principal component 1 and 2 (PC1 and PC2) accounted for 100 % of the explained variance, wherein 94 % was explained by PC1 and 6 % by PC2 (Figure 3). The Vis-NIR spectra of mangoes produced in Petrolina – PE clustered in the right quadrant of the PC1 with those harvested in Cândido Rodrigues – SP (2016/2017 and 2016/2017), without clear segregation between clusters. Although Wang et al. (1991) and Peirs et al. (2002) indicated that the NIRS is greatly influenced by the differences within fruit batches, there was no segregation between ‘Palmer’ mangoes produced in different regions. On the other hand, Santos Neto et al. (in press) reported segregation of ‘Palmer’ mangoes harvested in different seasons. Discriminant analysis should be performed as NIRS allows the identification of the origin of the fruit and can be used to identify the geographical indication (GI) of the fruit, making discrimination of batches possible, as reported in fruit such as açai (*Euterpe oleracea* Mart.) and juçara (*Euterpe edulis* Mart.) (Cunha Júnior et al., 2015; Dall’Acqua et al., 2015), jaboticaba ‘Sabará’ (*Myrciaria jaboticaba*) and ‘Açú’ (*Myrciaria cauliflora*) (Morgenstern et al., 2016).

3.2. CA storage

3.2.1. Fresh weigh loss

The fresh weight loss (FWL) of the ‘Palmer’ mangoes is given in the Figure 4. No significant differences in FWL were observed between the fruit sorted based on

150 g kg⁻¹ DM and fruit sorted based on visual appearance (Figure 4). The duration of storage period affected FWL (Figure 4). At the end of the CA storage (30 d) the FWL reached a maximum of 0.98-0.90 % in the fruit from both treatments. Therefore, the relative humidity (RH) within the CA chambers (92.6 ± 2.8 %) adequately controlled the dehydration as the RH stayed within the limit (90-95 %) recommended for fruit storage (Kader, 2003; Chitarra and Chitarra, 2005). Similar results were reported by Teixeira and Durigan (2011), who observed a maximum FWL of 0.74 % when 'Palmer' mangoes were stored under CA with different O₂ concentrations (21, 15, 10, 5, and 1.0 kPa O₂) for 28 d at 12.8 °C. Similarly, Teixeira et al. (2018) reported FWL of only 1.04 % in 'Palmer' mangoes stored under CA in atmospheres containing 5 kPa O₂ plus 1.0, 5, 10, 15, and 20 kPa CO₂ for 30 d at 12.8 °C.

On the other hand, when mangoes were transferred to ambient conditions (23.7 ± 1.1 °C and 73.4 ± 15.1 % RH) FWL reached 3.12-3.52 % in just 4 d independent of treatment (Figure 4).

3.2.2. Fruit quality

Physico-chemical characteristics of the 'Palmer' mangoes sorted with 150 g kg⁻¹ DM and visual appearance stored under CA for 30 d are presented in Table 2. During CA storage, no significant differences in fruit color were observed between mangoes from both treatments, but color was affected by the storage period with a decrease in L* (Table 2). The other color parameters did not change, and mangoes presented colors with low chroma ($C^* = 10.44 - 10.51$) and purple hue ($h = 229.65 - 241.16$ °). The low storage temperature during CA contributed to the minimal modification in color. O'Hare (1995) reported that 'Kensington Pride' mangoes stored at 13 °C did not reach the characteristic color of this cultivar. Carotenoid synthesis in mango is reduced during cold storage (Thompson, 1971; Medlicott et al., 1986). In addition, when cold storage is associated with CA storage, mainly in low O₂ (5.0 kPa O₂), color and firmness modifications are more impaired as these processes require ethylene to be triggered (Tucker, 1993; Wills et al., 1998; Kader, 1995; Chitarra and Chitarra, 2005). According to Kader (1995), in atmospheres with O₂ concentrations lower than 8.0 kPa there is a reduction in the ethylene production through the

inhibition of the 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) synthesis, as well as, the ACC oxidase. Therefore, the use of CA with 5.0 kPa O₂ + 5.0 kPa CO₂ allows the maintenance of the 'Palmer' mango quality similar to previously reported by Teixeira and Durigan (2011), and Teixeira et al. (2018).

No significant differences were observed in the other physico-chemical parameters between mangoes from both treatments, but storage period affected SSC, pH, TA, ratio (SSC/TA), vitamin C content, and firmness (Table 2). It should be noted that the mangoes from both treatments presented initial SSC of 6.64 % and the SSC increased to 10.78 % after 30 d under CA storage (Table 2). Fruit firmness decreased from 32.91 N to 14.32 N (Table 2), indicating that mangoes were more ripe after 30 d under CA storage. Teixeira and Durigan (2011) and Teixeira et al. (2018) reported that 'Palmer' mangoes, when stored under CA for 28 or 30 d, also presented modifications in SSC and firmness, yet to a lesser extent when stored in low O₂ (1.0-10 kPa). The modifications in SSC and firmness are dependent on the action of ethylene as this hormone initiates the ripening process and consequently the expression of several enzymes related to cell wall disassembly (Tucker, 1993; Wills et al., 1998).

A significant interaction ($p < 0.0276$) was observed between treatments (visual and 150 g kg⁻¹ sorted mangoes) at the end of storage period, but the only significant difference was the lower DM content of visually sorted mangoes after 30 d of CA storage (Table 2, Figure 5). This might be attributed to the lack of uniformity in visually sorted mangoes. These results highlight that it was possible to sort the mangoes according to the desired maturity stage, approaching the recommended DM content of 150 g kg⁻¹ (Walsh 2016), using NIRS. However, the DM content of mangoes sorted based on 150 g kg⁻¹ method were not significantly different from that of the fruit sorted via the traditional method based on the visual appearance (Table 2, Figure 5). As the fruit were harvested very late in the season, more mature mangoes were harvested, which justifies the lack of the effect of treatments on the average DM content, similar to the findings of Anderson et al. (2017) in Australia. Although not much differences were observed, the standard deviation (SD) for the fruit sorted by the traditional handling was higher (23.3 g kg⁻¹) than for the fruit sorted with 150 g kg⁻¹ DM (15.9 g kg⁻¹). As there are complaints about the lack of uniformity

in mango consignments, particularly regarding stages of maturity, the use of NIRS allows a more uniform fruit sorting process.

Even with the modification in SSC and loss of firmness of the fruit flesh after 30 d of storage under CA, the mangoes were not completely ripened and presented a similar quality to recently harvested fruit.

3.2.3. *Fruit quality under ambient conditions following storage*

No significant differences were observed between the mangoes sorted based on 150 g kg⁻¹ DM and based on visual appearance, and the fruit ripened normally without evidence of physiological disorders (Table 3). The fruit presented the typical 'Palmer' mango color with dark ($L^* = 37.65 - 37.83$) purple peel (hue angle = $255.24 - 281.93^\circ$). Rapid softening occurred after removal from storage to ambient conditions and mangoes were considered to be ripened after 4 d in these conditions. Melo Neto et al. (1999) and Jeronimo and Kaneshiro (2000) also reported an increase in the rate of the ripening process when 'Palmer' mangoes were transferred to ambient conditions after cold storage. Similarly, Teixeira and Durigan (2011) and Teixeira et al. (2018) reported that 'Palmer' mangoes previously stored under CA ripen faster after they are transferred to ambient conditions. Although no physiological disorders were observed, an increase in the decay caused by *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz) Penz. & Sacc, which was absent during CA storage, was observed at ambient temperature.

3.2.4. *Sensory evaluation*

Regarding the external appearance, the panelist attributed lower scores to the mangoes sorted with 150 g kg⁻¹ DM in comparison to the traditional visual sorting at the beginning of the storage period (Figure 6A). However, after 30 d under CA storage the fruit sorted based on 150 g kg⁻¹ DM were evaluated as better and resembled the mangoes from the traditional visual sorting (Figure 6A). Similarly, mangoes sorted based on 150 g kg⁻¹ DM were rated lower for internal appearance (pulp color) than the visually sorted mangoes at the beginning of the storage period (Figure 6B), but these differences were not observed after 30 d storage under CA (Figure 6B).

On the other hand, when the fruit were transferred to ambient conditions, the panelist attributed significantly higher scores ($p < 0.05$) for external appearance to the mangoes sorted based on 150 g kg^{-1} DM as compared to those sorted visually, possibly due to the excess ripening after 4 d in this condition (Figure 7). At ambient conditions, the ripening process mainly changed the color of the pulp with the pulp turning more yellow, and the panelists attributed a score of 7.2 (like moderately) to mangoes from both treatments. 'Palmer' mangoes ripened rapidly at ambient conditions, before the period of 7 d, which is established as the time required for transit after the CA storage. Teixeira and Durigan (2011) and Teixeira et al. (2018) reported that 'Palmer' mangoes ripened in 7 to 9 d after CA storage depending on CA conditions. However, these authors used mangoes with DM content inferior than 150 g kg^{-1} , thus more immature fruit have longer shelf-life but with lower final quality.

4. Conclusions

During CA storage 'Palmer' mangoes sorted based on visual characteristics and based on 150 g kg^{-1} DM content using a portable near-infrared (Vis-NIR) spectrometer presented similar postharvest patterns.

The main advantage of using NIRS to sort mangoes with 150 g kg^{-1} DM was to achieve a more homogeneous fruit batch with lower standard deviation in comparison to that of visually sorted fruit.

The use of portable near-infrared (NIR) spectrometer allows sorting more uniform fruit based on a pre-determined DM content, which improves the quality of the mangoes to be exported.

Acknowledgments

The authors would like to thank Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) for funding this research (proc. 2015/03451-9) and providing the doctorate fellowship of the first author (proc. 2015/25631-9). The authors also thank Agrobbras Agrícola Tropical do Brasil S.A. for providing the fruit.

References

- Abbott, J.A., 1999. Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharv. Bio. Technol.* 15, 207-225.
- A.O.A.C., 1997. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists, sixteenth ed. Ed. Patrícia Cuniff, Arlington.
- Agrostat/MAPA, 2016. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. AGROSTAT - Estatísticas de Comércio Exterior do Agronegócio Brasileiro. <http://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm> (accessed 15 December 2017).
- AMIA., 2016. 2016 mango industry quality standards. <http://www.industry.mangoes.net.au/resource-collection/2016/9/29/2016-mango-industry-quality-standards?rq=standard> (accessed 25 October 2017).
- Anderson, N.T., Subedi, P.P., Walsh, K.B., 2017. Manipulation of mango fruit dry matter content to improve eating quality. *Sci. Hortic.* 226, 316-321.
- Assis, J.S., 2004. Cultivo da mangueira: colheita e pós-colheita. http://www.cpatsa.embrapa.br:8080/sistema_producao/spmanga/colheita.htm (accessed 21 October 2017).
- Barnes, R.J., Dhanoa, M.S., Lister, S.J., 1993. Correction to the description of standard normal variate (SNV) and De-Trend (DT) transformation in practical spectroscopy with applications in food and beverage analysis – 2nd edition. *J. Near Infrared Spectrosc.* 1, 1865-186.
- Bender, R.J., Brecht, J., 2000. Respiração e produção de etanol e de etileno em mangas armazenadas sob diferentes concentrações de dióxido de carbono e oxigênio. *Pesq. Agropec. Bras.* 35, 865-871.
- Bender, R.J., Brecht, J.K., Sargent, S.A., 2000. Mango tolerance to reduced oxygen levels in controlled atmosphere storage. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 125, 707-713.
- Betemps, D.L., Fachinello, J.C., Galarça, S.P., 2011. Espectroscopia do visível e infravermelho próximo (VIS/NIR) na avaliação da qualidade de mangas Tommy Atkins. *Rev. Bras. Frutic.* 33, 306-313.
- Chitarra, M.I.F., Chitarra, A.B., 2005. Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio, second ed. UFLA, Lavras.

- Cunha Júnior, L.C., Nardini, V., Khatiwada, B.P., Teixeira, G.H.A., Walsh, K.B., 2015. Classification of intact açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) and juçara (*Euterpe edulis* Mart) fruits based on dry matter content by means of near infrared spectroscopy. *Food Control*. 50, 630-636.
- Dall'Acqua, Y.G., Cunha Junior, L.C., Nardini, V., Lopes, V.G., Pessoa, J.D.C., Teixeira, G.H.A., 2015. Discrimination of *Euterpe oleracea* Mart. (açaí) and *Euterpe edulis* Mart. (juçara) intact fruit using near-infrared (NIR) spectroscopy and linear discriminant analysis. *J. Food Process. Preserv.* 39, 2856-2865.
- Delwiche, S.R., Mekwatanakarn. W., Wang. C.Y., 2008. Soluble solids and simple sugars measurement in intact mango using near infrared spectroscopy. *HortTechnology*, 18, 410-416.
- Do, J.Y., Salunkhe, D.K., 1979. Almacenamiento em atmosfera controlada, in: Pantastico, Er.B. (Ed.), *Fisiologia de la postrecoleccion, manejo y utilizacion de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales*. Compañía Editorial Continental, S.A., México, pp. 209-221.
- Dutcosky, S.D., 2013. Análise sensorial de alimentos. PUCPRESS, Curitiba.
- FAOSTAT. 2012. FAO Statistics, Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org/> (accessed 15 December 2017).
- Guthrie, J.A., Walsh, K.B., 1997. Non-invasive assessment of pineapple and mango fruit quality using near infrared spectroscopy. *Aust. J. Exp. Agric.* 37, 253–263.
- IBGE., 2015. Levantamento sistemático da produção agrícola. 2009 e 2010. <http://www.ibge.gov.br> (accessed 16 September 2015).
- Isaksson, T., Tormod, N., 1988. The effect of multiplicative scatter correction (MSC) and linearity improvement in NIR Spectroscopy. *Appl. Spectrosc.* 42, 1273- 1284.
- Jenonimo, E.M., Kanesiro, M.A.B., 2000. Efeito da associação de armazenamento sob refrigeração e atmosfera modificada na qualidade de mangas 'Palmer'. *Rev. Bras. Frut.* 22, 237-243.
- Jha, S. N., Jaiswal, P., Narsaiah, K., Gupta, M., Bhardwaj, R., Singh, A. K., 2012. Non-destructive prediction of sweetness of intact mango using near infrared spectroscopy. *Sci. Hortic.* 138, 171-175.
- Kader, A.A., 1986. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. *Food Chem.* 40, 99-100.

- Kader, A.A., 1995. Regulation of fruit physiology by controlled/modified atmospheres. *Acta Hortic.* 398, 59-70.
- Kader, A.A., 2002. Fruits in the global market, in: Knee, M. (Ed.), *Fruit quality and its biological basis*. Sheffield Academic Press, Sheffield U.K. pp. 1-16.
- Kader, A.A., 2003a. Postharvest biology and technology: an overview, in: Kader, A.A. (Ed.), *Postharvest technology of horticultural crops*. University of California: Division of Agriculture and Natural Resources Publication, Davis. pp. 39-47.
- Kader, A.A., 2003b. A summary of CA requirements and recommendations for fruits other than apples and pears. *Acta Hortic.* 600, 737-740.
- Lizada M.C.C., Biglete-Flor N.A., Garcia N.L., 2004. The response of the 'Carabao' mango to controlled atmospheres. In: 5th International Postharvest Symposium. Volume of Abstract . Verona, Italy 6-11 June 2004. page 5.
- Lizada, L.A., Ochagavia, A., 1997. Controlled atmosphere storage of mango fruits (*Mangifera indica* L) cvs Tommy Atkins and Kent. *Acta Hortic.* 455, 732-737.
- Mahayothee, B., Leitenberger, M., Neidhart, S., Mühlbauer, W., Carle, R., 2004. Nondestructive determination of maturity of Thai mangoes by near-infrared spectroscopy. *Acta Hortic.* 645, 581–588.
- Makani, O.A, 2009. Mango quality survey and sensory evaluation of mango (*Mangifera indica* L.) cultivars. Master Thesis. Gatton: University of Queensland.
- Marques, E.J.N., Freitas, S.T., Pimentel, M.F., Pasquini, C., 2016. Rapid and nondestructive determination of quality parameters in the 'Tommy Atkins' mango using a novel handheld near infrared spectrometer. *Food Chem.* 197, 1207–1214.
- McGuire, R.G., 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience.* 27, 254-255.
- McLauchan, R.L., Barker, L.R., 1992. Controlled atmospheres for Kensington mango storage: classical atmospheres. In: *Development of Postharvest Handling Technology for Tropical Tree Fruits*, Canberra. Abstracts ... Canberra: ACIAR. 41-44 pp.
- Medlicott, A.P., Reynolds, S.P., Thompson, A.K., 1986. Effects of temperature on the ripening of mango fruit (*Mangifera indica* L. var. Tommy Atkins). *J. Sci. Food Agric.* 37, 469-474.

- Melo Neto, M.L., Christoffoleti, P.J., Sigrist, J.M.M., Alves, R.M.V., 1999. Utilização de embalagens plásticas e refrigeração na conservação de manga (*Mangifera indica* L.) cv. Palmer. Rev. Bras. Frutic. 21, 160-165.
- Miltra, S.K., 2016. Mango production in the world – present situation and future prospect. Acta Hortic. 1111, 287-296.
- Miltra, S.K., Baldwin, E.A., 1997. Mango, in: Miltra, S.K. (Ed.), Postharvest physiology and storage of tropical and subtropical fruit. CAB International, Wallingford, Oxon. pp. 85-122.
- Morgenstern, T.B., Cunha Júnior, L.C., Mariani, N.C.T., Nardini, V., Teixeira, G.H.A., 2016. Discrimination between *Myrciaria jaboticaba* ('Sabará') and *Myrciaria cauliflora* ('Açú') fruit using CIE colour parameters and near-infrared spectroscopy. Acta Hortic. 1119, 259-264.
- Naes, T., Isaksson, T., Fearn, T., Davies, T.A., 2002. User-Friendly Guide to Multivariate Calibration and classification. NIR Publication, 344.
- Neto, Á.G., Gayet, J.P., Bleinroth, E.W., Matallo, M., Garcia, A.E., Ardito, E.F.C., Garcia, E.E.C., Bordin, M.R., 1994. Manga para exportação: procedimentos de colheita e pós-colheita. EMBRAPA-SPI, Brasília (Série Publicações Técnicas FRUPEX, 4).
- Nicolaï, B. M.; Beullens, K.; Bobelyn, E.; Peirs, A.; Saeys, W.; Theron, K. I.; Lammertyna, J., 2007. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. Postharv. Bio. Technol. 46, 99–118.
- Nordey, T., Joas, J., Davrieux, F., Chillet, M., Léchaudel, M., 2017. Robust NIRS models for non-destructive prediction of mango internal quality. Sci. Hortic. 216, 51–57.
- O'Hare, T.J., 1995. Effect of ripening temperature on quality and composition changes of mango (*Mangifera indica* L.) cv. Kensington. Aust. J. Exp. Agric. 35, 259-263.
- Owen, G., Moore, C. 2013. Mango dry matter instructions. Information sheet. https://nt.gov.au/_data/assets/pdf_file/0004/267709/mango-dry-matter-instructions-information-sheet.pdf. (accessed 04 February 2018).

- Peirs, A., Tirry, J., Verlinden, B., Darius, P., Nicolaï, B.M., 2002. Effect of biological variability on the robustness of NIR-models for soluble solids content of apples. *Postharvest Biol. Technol.* 28, 269-280.
- Rungpichayapichet, P., Mahayothee, B., Nagle, M., Khuwijtjaru, P., Müller, J., 2016. Robust NIRS models for non-destructive prediction of postharvest fruit ripeness and quality in mango. *Postharvest Biol. Technol.* 111, 31-40.
- Santos Neto, J.P., Assis, M.W.D., Casagrande, I.P., Cunha Júnior, L.C., Teixeira, G.H.A., 2017. Determination of 'Palmer' mango maturity indices using portable near infrared (VIS-NIR) spectrometer. *Postharvest Biol. Technol.* 130, 75–80.
- Santos Neto, J.P., Leite, G.W.P., Oliveira, G.S., Cunha Júnior, L.C., Gratão, P.L., Teixeira, G.H.A. Cold storage of 'Palmer' mangoes sorted based on dry matter content using portable near infrared (VIS-NIR) spectrometer. *J. Food Process. Preserv.* (in press).
- Saranwong, S., Sornsrivichai, J., Kawano, S., 2001. Improvement of PLS calibration for Brix value and dry matter of mango using information from MLR calibration. *J. Near Infrared Spectrosc.* 9, 287–295.
- Saranwong, S., Sornsrivichai, J., Kawano, S., 2003. On-tree evaluation of harvesting quality of mango fruit using a hand-held NIR instrument. *J. Near Infrared Spectrosc.* 11, 283–293.
- Saranwong, S., Sornsrivichai, J., Kawano, S., 2004. Prediction of ripe-stage eating quality of mango fruit from its harvest quality measured nondestructively by near infrared spectroscopy. *Postharvest Biol. Technol.* 31, 137–145.
- Savitsky, A.; Golay, M.J.E., 1964. Smoothing and differenciation by simplified least squares procedures. *Anal. Chem.* 36, 1627-1632.
- Schmilovitch, Z., Mizrach, A., Hoffman, A., Egozi, A., Fuchs, Y. (2000). Determination of mango physiological indices by near-infrared spectrometry. *Postharvest Biol. Technol.* 19, 245-252.
- Singh, Z., Zaharah, S.S. 2015. Controlled atmosphere storage of mango fruit: challenges and thrusts and its implications in international mango trade. *Acta Hort*, 1066, 179-192.
- Strohecker, R., Henning, H.M., 1967. *Análises de vitaminas: métodos comprovados.* Paz Montolvo, Madrid.

- Subedi, P. P.; Walsh, K. B.; Owens, G., 2007. Prediction of mango eating quality at harvest using short-wave near infrared spectrometry. *Postharvest Biol. Technol.* 43, 326–334.
- Subedi, P.P., Walsh, K.B., 2011. Assessment of sugar and starch in intact banana and mango fruit by swnirs spectroscopy. *Postharvest Biol. Technol.* 62, 238-245.
- Teixeira, G.H.A., Durigan, J.F., 2011. Storage of 'Palmer' mangoes in low-oxygen atmospheres. *Fruits.* 66, 279-289.
- Teixeira, G.H.A., Santos, L.O., Cunha Júnior, L.C., Durigan, J.F., 2018. Increasing levels of carbon dioxide (CO₂) associated with low-oxygen (O₂) do not affect the quality of 'Palmer' mangoes during controlled atmosphere storage. *J. Food Sci. Technol.* 55, 145-156.
- Thompson, A.K., 1971. The storage of mango fruits. *Trop. Agric.* 48, 63-70.
- Trinidad, M., Bósquez, E., Escalona, H., Días De León, F., Pérez Flores, L., Kerbel, C., Ponce De León, L., Muñoz, C., Pérez, L., 1997. Controlled atmosphere (5% CO₂ - 5% O₂ and 10% CO₂ – 5% O₂) do not significantly increase the shelf life of refrigerated Kent Mangoes. *Acta Hortic.* 455, 643-653.
- Tucker, G.A., 1993. Introduction, in: Seymour, G.B., Taylor, J.E., Tucker, G.A. (Ed.), *Biochemistry of fruit ripening*. Chapman & Hall, Cambridge. pp. 2-51.
- Valente, M., Leardi, R., Self, G., Luciano, G., Pain, J.P., 2009. Multivariate calibration of mango firmness using vis/nirs spectroscopy and acoustic impulse method. *J. Food Eng.* 94, 7-13.
- Walsh, K.B., 2016. Dry matter matters. <http://www.industry.mangoes.net.au/resource-collection/2016/3/6/dry-matter-matters> (accessed 25 March 2017).
- Walsh, K.B., Subedi, P.P., 2016. In-field monitoring of mango fruit dry matter for maturity estimation. *Acta Hortic.* 1119, 273-278.
- Walsh, K.B., Golic, M., Greensill, C.V., 2004. Sorting of fruit using near infrared spectroscopy: application to a range of fruit and vegetables for soluble solids and dry matter content. *J. Near Infrared Spectrosc.* 12, 141-148.
- Wang, Y., Veltkamp, D.J., Kowalski, B.R., 1991. Multivariate instrument standardisation. *Anal. Chem.* 63, 2750–2756.

Watkins, C., Harman, J., 1981. Use of penetrometer to measure flesh firmness of fruit. *Orchardist New Zealand*, 54, 14-16.

Wills, R., McGlasson, B., Graham, D. Joyce, D., 1998. *Postharvest: an introduction to the physiology & handling of fruit, vegetables & ornamentals*. UNSW Press, Sydney.

Tables

Table 1. Descriptive statistics of dry mater (DM) content in ‘Palmer’ mangoes sorted based on visual characteristics and with 150 g.kg⁻¹ DM content using a portable visible near-infrared (Vis-NIR) spectrometer.

Source of variation	Total	Sorted	Average	Maximum	Minimum	SD ¹
Visual sorting	210	61	152.7	207.7	97.5	23.3
150 g.kg ⁻¹ DM	210	149	147.6	165.2	129.5	15.9

¹SD = standard deviation.

Table 2. Physico-chemical parameters of ‘Palmer’ mangoes sorted based on visual characteristics and with 150 g.kg⁻¹ DM content using a portable visible near-infrared (Vis-NIR) stored under controlled atmosphere (CA) with (5 kPa O₂ + 5 kPa CO₂) for 30 d at 14.2±2.3°C and 92.6±2.8% RH.

Sources of variation	L ¹	a ²	b ²	h° ³	C* ⁴	pH ⁵	SSC (%) ⁶	TA ⁷	Ratio (SSC/TA) ⁸	Vit C (g.kg ⁻¹) ⁹	Firmness (N) ¹⁰	DM (g.kg ⁻¹) ¹¹
Treatments (T)												
Visual sorting	34.87	-3.62	10.44	229.65	11.71	2.85	10.78	0.42	26.26	0.28	24.04	157.0
150 g.kg ⁻¹ DM	33.78	-3.40	10.51	241.16	11.98	2.96	10.92	0.39	29.67	0.32	23.19	155.3
F test	0.7013	0.8154	0.8940	0.3369	0.6773	0.6187	0.9002	0.5242	0.4125	0.4348	0.5738	0.8288
Storage (S)												
0	35.69 a	-3.28	10.41	238.84	11.98	2.26 b	6.64 b	0.33 b	20.48 b	0.21 b	32.91 a	162.1
30	33.79 b	-3.74	10.55	231.92	11.71	3.55 a	10.78 a	0.49 a	35.45 a	0.40 a	14.32 b	150.2
F test	0.0059*	0.6225	0.8029	0.5683	0.6817	0.001**	0.0001**	0.0005*	0.0002*	0.0001**	0.0001**	0.1080
Interaction												
T x S	0.0651	0.1862	0.0185	0.5251	0.0583	0.0162	0.1440	0.4452	0.0788	0.9444	0.5874	0.0276*

¹Lightness (L). ²a*, b* coordinates; ³Hue angle; ⁴chromaticity; ⁵hydrogenionic potential; ⁶titratable acidity; ⁷soluble solids content; ⁸Ratio (SSC/TA); ⁹ascorbic acid content; ¹⁰dry matter content. Average values with the same letter within the columns are not statistically different by Tukey's test (p<0.05). Values in the column without letter are not statistically different by Tukey's test (p<0.05). NS = no significant. *significant at p<0.05.

Table 3. Physico-chemical parameters of ‘Palmer’ mangoes sorted based on visual characteristics and with 150 g.kg⁻¹ DM content using a portable visible near-infrared (Vis-NIR) stored under controlled atmosphere (CA) with (5 kPa O₂ + 5 kPa CO₂) for 30 d at 14.2±2.3°C and 92.6±2.8% RH, and 4 d at ambient (23.7±1.1°C and 73.4±15.1% RH).

Sources of variation	L* ¹	a* ²	b* ²	h° ³	C* ⁴	pH ⁵	SSC (%) ⁶	TA ⁷	Ratio (SSC/TA) ⁸	Vit C (g.kg ⁻¹) ⁹	Firmness (N)	DM (g.kg ⁻¹) ¹⁰
Visual sorting	37.65	0.81	13.03	281.93	13.87	4.54	15.07	0.27	57.70	0.33	1.72	143.2
150 g.kg ⁻¹ DM	37.83	-1.08	13.72	255.24	14.11	4.66	15.88	0.26	61.66	0.29	2.01	150.4
<i>F test</i>	0.9121	0.1529	0.6351	0.0382	0.8750	0.4021	0.400	0.5040	1.000	0.4823	0.4021	0.5082
							1					

¹Lightness (L). ²a*, b* coordinates; ³Hue angle; ⁴chromaticity; ⁵hydrogenionic potential; ⁶titratable acidity; ⁷soluble solids content; ⁸Ratio (SSC/TA); ⁹ascorbic acid content; ¹⁰dry matter content. Average values with the same letter within the columns are not statistically different by Tukey's test (p<0.05). Values in the column without letter are not statistically different by Tukey's test (p<0.05).

Figures

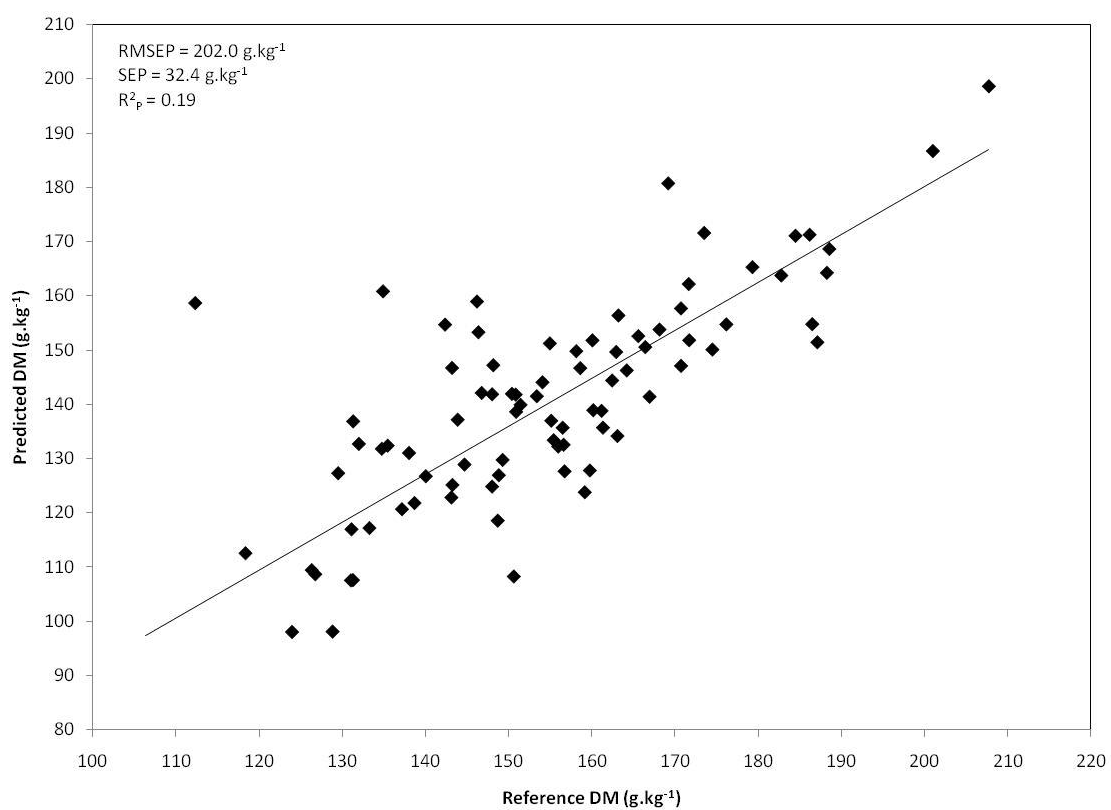


Figure 1. Dry matter (DM) content of ‘Palmer’ mangoes harvested in Petrolina, PE, predicted using the PLSR model developed by Santos Neto et al. (2018b).

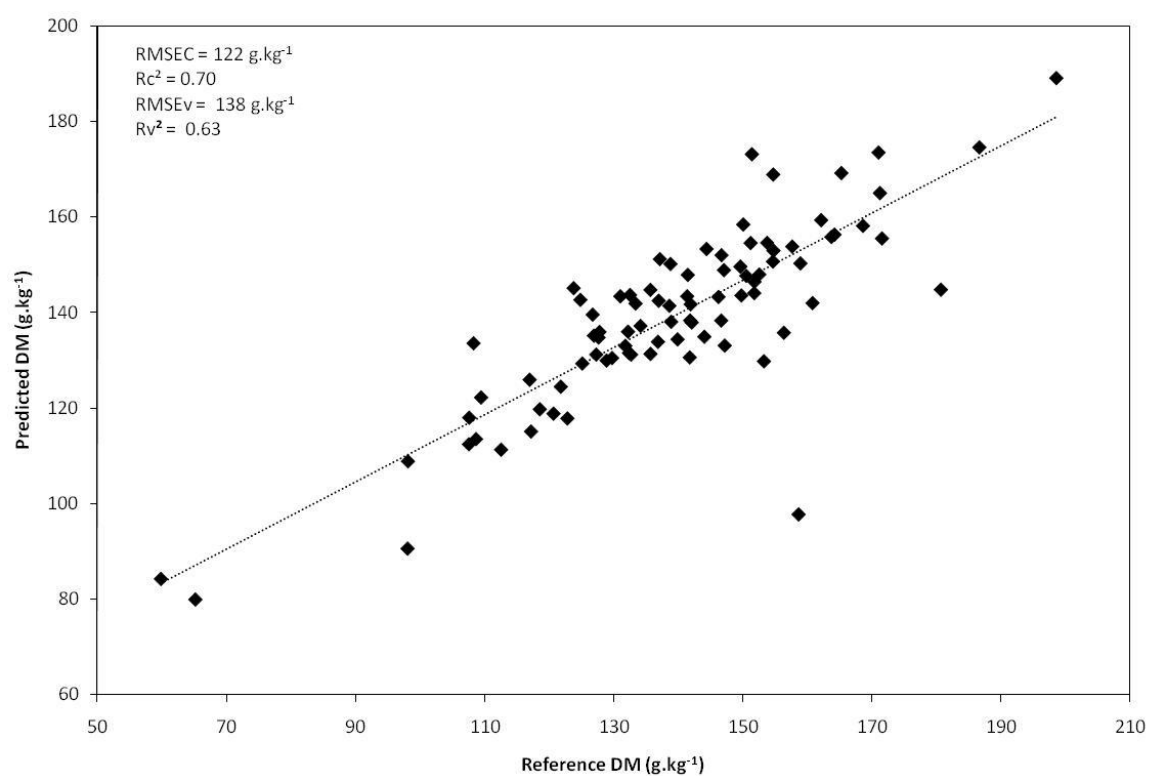


Figure 2. Estimated and predicted dry matter (DM) content of 'Palmer' mangoes harvested in Petrolina, PE.

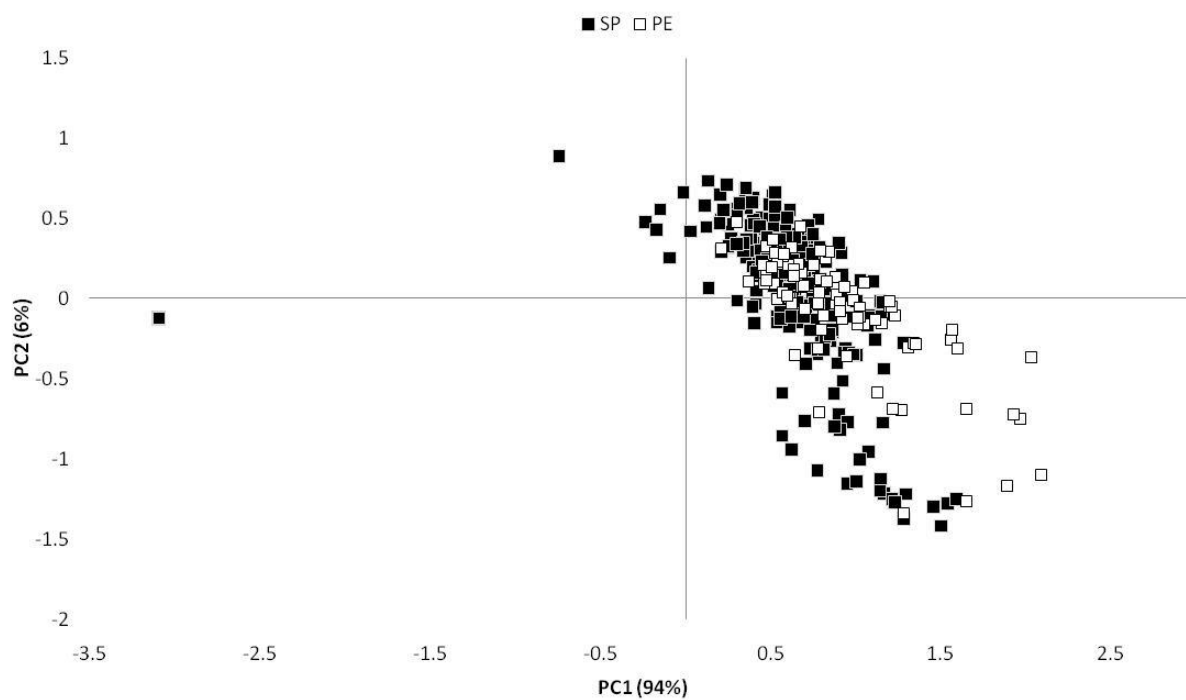


Figure 3. Scores of principal component 1 (PC1) and 2 (PC2) obtained with raw NIR spectra (699-981 nm) of 'Palmer' mangoes harvested in Cândido Rodrigues, SP (2015/16 and 2016/17 seasons – SP) and in Petrolina, PE (PE).

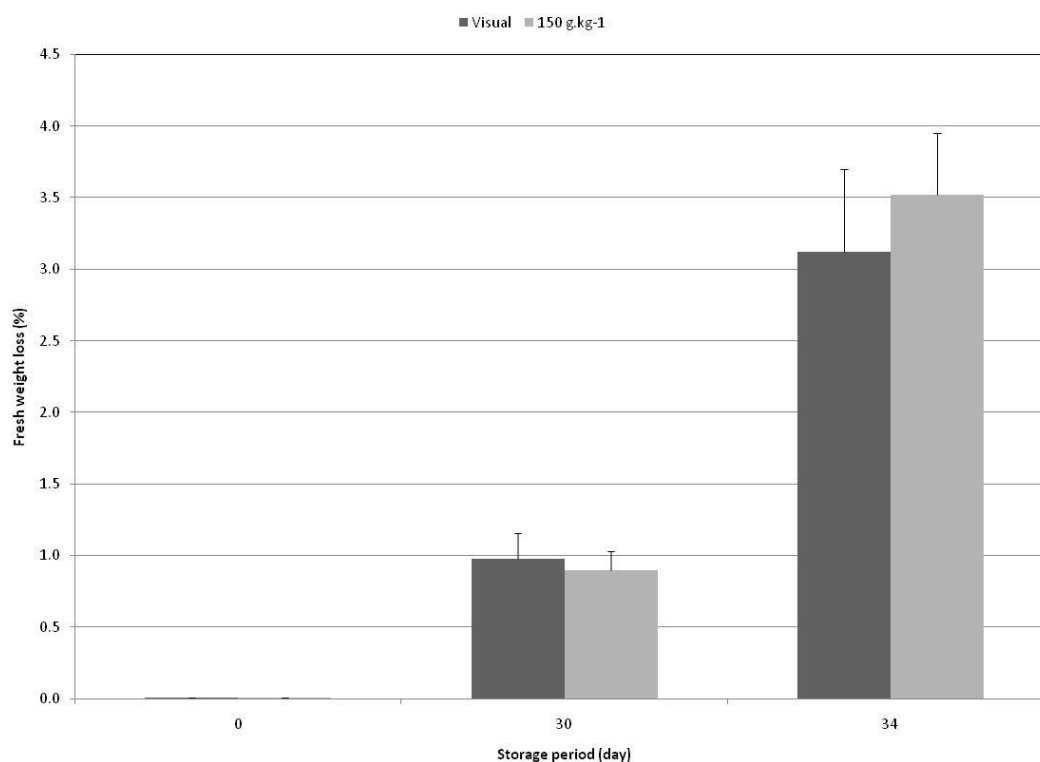


Figure 4. Fresh weight loss (FWL) of ‘Palmer’ mangoes sorted based on visual characteristics and with 150 g.kg⁻¹ DM content using a portable visible near-infrared (Vis-NIR) stored under controlled atmosphere (CA) with (5 kPa O₂ + 5 kPa CO₂) for 30 d at 14.2±2.3°C and 92.6±2.8% RH, and 4 d at ambient (23.7±1.1°C and 73.4±15.1% RH). The vertical bars indicate standard deviations of 10 replicates.

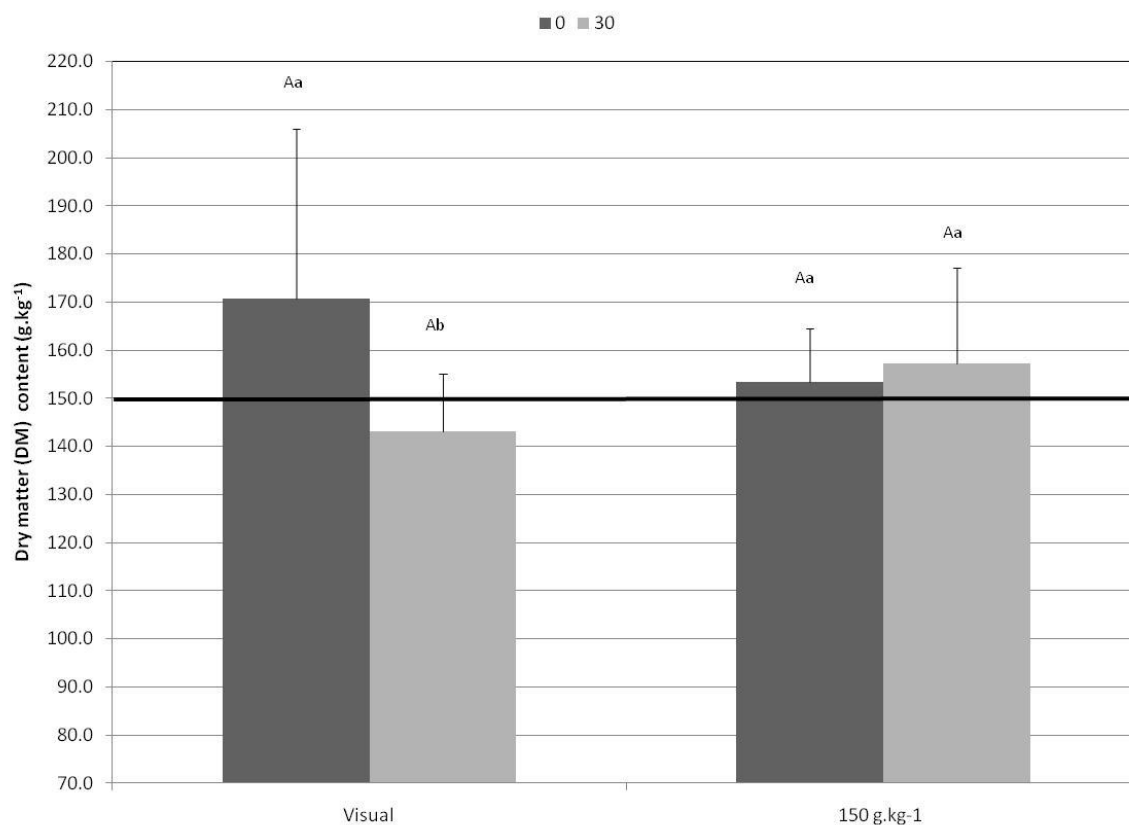


Figure 5. Dry matter (DM) content (g.kg⁻¹) of 'Palmer' mangoes harvested in Petrolina, PE, and sorted based on visual stored under controlled atmosphere (CA) conditions (5 kPa O₂ + 5 kPa CO₂) at 14.2 °C for 30 d. The vertical bars indicate standard deviations of 10 replicates.

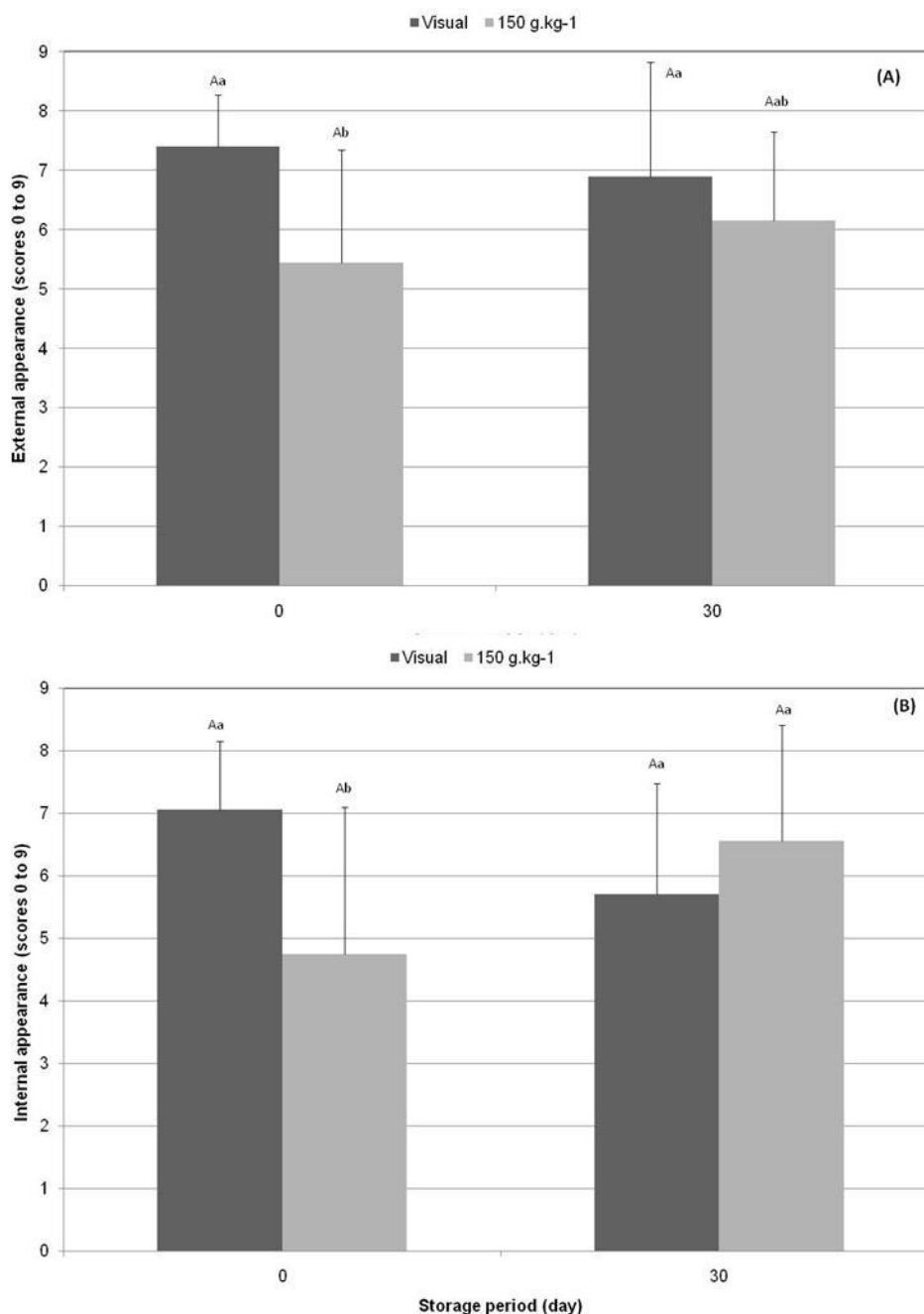


Figure 6. External (A) and internal (B) appearance of 'Palmer' mangoes sorted based on visual characteristics and with 150 g.kg⁻¹ DM content using a portable visible near-infrared (Vis-NIR) stored under controlled atmosphere (CA) with (5 kPa O₂ + 5 kPa CO₂) for 30 d at 14.2±2.3°C and 92.6±2.8% RH. The vertical bars indicate standard deviations of 20 replicates.

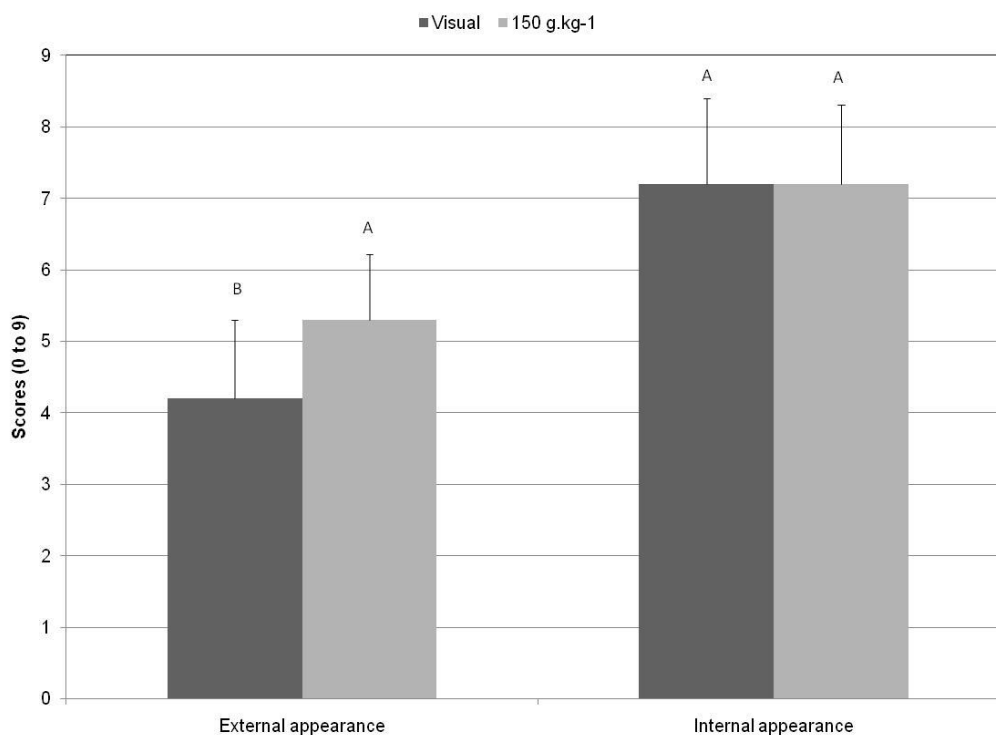


Figure 7. External and internal appearance Fresh weight loss (FWL) of ‘Palmer’ mangoes sorted based on visual characteristics and with 150 g.kg⁻¹ DM content using a portable visible near-infrared (Vis-NIR) stored under controlled atmosphere (CA) with (5 kPa O₂ + 5 kPa CO₂) for 30 d at 14.2±2.3°C and 92.6±2.8% RH, and 4 d at ambient (23.7±1.1°C and 73.4±15.1% RH). The vertical bars indicate standard deviations of 20 replicates.

CAPÍTULO 5 – Considerações finais

Os resultados apresentados evidenciam que é possível a aplicação da NIRS na determinação da maturidade dos frutos de manga 'Palmer', sendo fundamental o uso da análise multivariada e da quimiometria, para o tratamento dos espectros NIR e desenvolvimento dos modelos de calibração para matéria-seca (MS), sólidos solúveis (SSC) de acordo com os estádios de maturidade. O modelo de calibração com base no teor de MS, foi desenvolvido de forma bem robusta. E, este utilizado para a classificação das mangas para o armazenamento a frio e sob atmosfera controlada, conforme demonstrado em Santos Neto et al. (2018), a fruta com maior MS (150 g.kg^{-1}) apresentou melhor qualidade do que a fruta com MS inferior (110 g.kg^{-1}). O uso do espectrômetro VIS-NIR portátil permite uma classificação mais uniforme de frutas com base em um conteúdo pré-determinado de MS, que pode ser usado para preservar a qualidade das mangas que chegam aos consumidores.

Pode-se concluir que a NIRS, principalmente por meio de instrumentos portáteis, é uma técnica analítica promissora para ser utilizada por produtores de manga em diferentes etapas de produção e comercialização. A NIRS apresenta diversas vantagens em comparação às técnicas convencionais de análise, dentre as quais pode-se destacar sua rapidez e sua natureza não destrutiva, que permitem a realização de medidas extremamente rápidas, sem uso de reagentes ou qualquer tipo de preparo de amostra. Entretanto, deve-se ressaltar que, como toda técnica analítica, a NIRS também apresenta algumas limitações, dentre as quais pode-se destacar o fato de ser uma técnica analítica indireta e, portanto, necessitar da construção prévia de modelos de calibração. Estes modelos devem utilizar um número significativo de amostras, que devem representar adequadamente toda a variabilidade esperada para as análises futuras.