



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

TESE DE DOUTORADO

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PROCESSAMENTO E ARMAZENAMENTO DE
PRODUTOS AGRÍCOLAS**

**MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS NA AVALIAÇÃO DA MATURAÇÃO
DE MANGAS ‘PALMER’ E SIMULAÇÃO DE DANOS DECORRENTES
DO TRANSPORTE**

JOSENARA DAIANE DE SOUZA COSTA

**CAMPINA GRANDE – PARAÍBA
SETEMBRO, 2019**

JOSENARA DAIANE DE SOUZA COSTA

**MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS NA AVALIAÇÃO DA MATURAÇÃO
DE MANGAS ‘PALMER’ E SIMULAÇÃO DE DANOS DECORRENTES
DO TRANSPORTE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Doutora em Engenharia Agrícola.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas

ORIENTADORES: Prof. Dr. Francisco de Assis Cardoso Almeida

Prof. Dr. Acácio Figueiredo Neto

Prof^a. Dr^a. Josivanda Palmeira Gomes

CAMPINA GRANDE – PARAÍBA

SETEMBRO, 2019

C837m

Costa, Josenara Daiane de Souza.

Métodos não destrutivos na avaliação da maturação de mangas 'palmer' e simulação de danos decorrentes do transporte / Josenara Daiane de Souza Costa. – Campina Grande, 2019.

106 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2019.

"Orientação: Profa. Dra. Josivanda Palmeira Gomes, Prof. Dr. Acácio Figueiredo Neto".

Referências.

1. Manga (*Mangifera indica* L.) – Cultivo. 2. Avaliação não Destrutiva. 3. Índice DA. 4. Espectroscopia VIS-NIR. 5. Imagens Digitais. 6. Máquina Vibratória. 7. Danos por Vibração. 8. Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas. I. Gomes, Josivanda Palmeira. II. Figueiredo Neto, Acácio. III. Título.

CDU 634.441(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA




PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA TESE


JOSENARA DAIANE DE SOUZA COSTA


“MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS NA AVALIAÇÃO DA MATURAÇÃO DE
MANGA “PALMER” E SIMULAÇÃO DE DANOS DECORRENTES DO
TRANSPORTE”


APROVADO(A): 13 de setembro de 2019

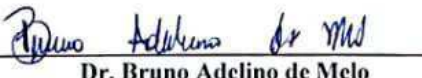
BANCA EXAMINADORA

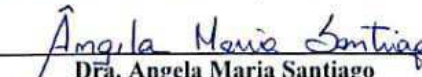

Dra. Josivanda Palmeira Gomes
Orientadora - UAEA/CTRN/UFCG


Dr. Acácio Figueirêdo Neto
Orientador - UNIVASF


Dr. Alexandre José de Melo Queiroz
Examinador - UAEA/CTRN/UFCG


Dra. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo
Examinadora - UAEA/CTRN/UFCG


Dr. Bruno Adclino de Melo
Examinador - UFCG/PDJ (CPF: 071.461.354-11)


Dña. Angela Maria Santiago
Examinadora - UEPB

À minha maior inspiração e motivação, mainha!

AGRADECIMENTOS

Ao final de mais uma etapa, tenho a oportunidade de agradecer a todos que contribuíram para que um dos meus sonhos se concretizasse. O sonho de me capacitar enquanto profissional e seguir na vida docente/pesquisadora, com ricas experiências, troca de saberes e por que não de afetos.

Primeiramente agradeço a Deus que mostrou que “esse tempo é necessário para amadurecer” e me deu forças para que esse projeto de vida se tornasse possível. Agradeço à minha família, por todo o incentivo nesses anos de estudos. Em especial à minha, minha fortaleza e a minhas irmãs, amigas, companheiras e incentivadoras (Mamá e Jojo), sem vocês nada seria possível e tão empolgante; agradeço a meu esposo por todo o companheirismo, não medindo esforços para que tudo desse certo; aos meus sobrinhos Raí e Maria Flor, minhas doses de alegria diárias; ao meu cunhado Fabrício e a minhas queridas tias Maria Helena e Toinha.

Sou grata às instituições parceiras no desenvolvimento deste trabalho: a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior (CAPES), a Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), a Special Fruit Importação e Exportação Ltda e à Fazenda GrandVale.

Movida pelo sentimento de gratidão, respeito e admiração, agradeço aos meus mestres: Professor Francisco de Assis Cardoso Almeida (Prof. Diassis), que há pouco mais de cinco anos me acolheu e foi exemplo de ser humano de caráter e um profissional com retidão; Professor Acácio Figueiredo Neto que me inspira, aconselha e incentiva como um verdadeiro pai. Serei eternamente grata!; e à Professora Josivanda, que diante das surpresas da vida me apoiou sem restrições.

Finalizando, sem querer ser injusta, agradeço a todos os amigos e parceiros que compartilharam de momentos providos dos diferentes sentimentos, em especial à Dyalla, companheira nas lutas diárias da pós-graduação e da vida pessoal, Marcela, Tatiane, Daniel Costa, Jeisa, Edson, Matheus, Daniele, Carlos e aos professores Nelson Cárdenas e Marcos Irmão pela disponibilidade e colaboração durante dias e noites de estudos e análises.

*A vida é uma corrida
que não se corre sozinho.
E vencer não é chegar,
é aproveitar o caminho
sentindo o cheiro das flores
e aprendendo com as dores
causadas por cada espinho.*

Bráulio Bessa

COSTA, J. D. S. **Métodos não destrutivos na avaliação da maturação de mangas ‘Palmer’ e simulação de danos decorrentes do transporte.** 2019. 106f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola. Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas) - Universidade Federal de Campina Grande – UFCG.

RESUMO GERAL

A maioria dos métodos para determinação da maturação de frutos é destrutiva, o que limita a aplicabilidade e reflete em prejuízos na produção da cultura da manga que tem grande importância na produção e exportação de frutas no Brasil. Além do emprego de técnicas não destrutivas na colheita, o estudo de danos que possam ser causados em decorrência do transporte são fatores que podem minimizar perdas e garantir homogeneidade da qualidade desses frutos. Sendo assim, objetivou-se com os estudos avaliar técnicas não destrutivas na determinação de parâmetros da maturação de mangas ‘Palmer’ e o efeito do estresse por vibração, após simulação de transporte, na qualidade dos frutos armazenados. Na primeira etapa, para determinar atributos de qualidade (firmeza, sólidos solúveis totais, acidez total titulável) durante a maturação de mangas ‘Palmer’ de forma não destrutiva foram aplicadas técnicas de espectroscopia na região do visível e do infravermelho próximo (VIS-NIR) e uso de imagens de reflectância VIS. Na segunda etapa dos estudos, foi desenvolvido e testado uma máquina vibratória para simular o transporte rodoviário de frutas, com posterior avaliação da qualidade de mangas ‘Palmer’ no armazenamento após os esforços vibracionais, através da: perda de massa, firmeza da polpa, índice de escurecimento da casca e da polpa, teor de sólidos solúveis totais e acidez total titulável. A utilização da espectroscopia e de imagens digitais foi eficaz na determinação de atributos de qualidade durante a maturação de mangas ‘Palmer’ de forma não invasiva. O desenvolvimento da máquina vibratória possibilitou a simulação satisfatória de frequências de vibração durante o transporte rodoviário de frutas, auxiliando na identificação de alterações da qualidade de mangas ‘Palmer’ decorrentes do estresse vibracional.

Palavras-chave: *Mangifera indica* L., avaliação não destrutiva, índice de diferença de absorvância, espectroscopia VIS-NIR, imagens digitais, máquina vibratória, danos por vibração.

COSTA, J. D. S. **Non-destructive methods in the evaluation of Palmer mangoes maturation and transport damage simulation.** 2019. 106f. Thesis (Doctorate degree in Agricultural Engineering. Processing and Storage of Agricultural Products) - Federal University of Campina Grande – UFCG.

GENERAL ABSTRACT

Most methods for determining fruit maturation are destructive, which limits applicability and reflects losses in mango crop production that is of great importance in fruit production and exportation in Brazil. In addition to the use of non-destructive harvesting techniques, the study of damage that may be caused as a result of transportation are factors that can minimize losses and ensure homogeneity in the quality of these fruits. Thus, the objective of the studies was to evaluate non-destructive techniques in determining parameters of maturation of 'Palmer' mangoes and the effect of vibration stress, after transport simulation, on the quality of stored fruits. In the first step, to determine quality attributes (firmness, total soluble solids, total titratable acidity) non-destructively during maturing 'Palmer' mangoes, visible and near infrared spectroscopy (VIS-NIR) techniques were applied and use of reflectance images. In the second step of the studies, a vibrating machine was developed and tested to simulate the road transport of fruits, with subsequent evaluation of the quality of 'Palmer' mangoes in storage after vibration efforts, through: mass loss, pulp firmness, index peel and pulp browning, total soluble solids content and total titratable acidity. The use of spectroscopy and digital imaging was effective in non-invasively determining quality attributes during maturation of 'Palmer' mangoes. The development of the vibratory machine made it possible to satisfactorily simulate vibration frequencies during fruit road transport, helping to identify changes in the quality of 'Palmer' mangoes due to vibrational stress.

Palavras-chave: *Mangifera indica* L., non destructive evaluation, absorbance difference index, VIS-NIR spectroscopy, digital images, vibrating machine, vibration damage.

LISTA DE FIGURAS

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- Figura 1** - Projeções para produção de manga no Brasil do ano de 2018 até o ano 2028. 18
- Figura 2** - Espectro eletromagnético com destaque para a região do visível. 21

CAPÍTULO 1

- Figura 1.1** - Fluxograma das avaliações para o estudo da maturação de mangas ‘Palmer’. ... 35
- Figura 1.2** - Espectrofotômetro portátil DA *meter* (Turoni, Itália). 36
- Figura 1.3** - Mangas ‘Palmer’ nos estádios de maturação 1 (A), 2 (B), 3 (C) e 4 (D). 36
- Figura 1.4** - Procedimento metodológico do uso de espectroscopia de reflectância VIS-NIR para avaliar atributos de qualidade durante a maturação de mangas ‘Palmer’ 38
- Figura 1.5** - Diagrama do sistema de aquisição de espectros de reflectância..... 38
- Figura 1.6** - Relação entre índice de diferença de absorbância (Índice DA) e firmeza (A), sólidos solúveis totais (B), acidez total titulável (C) e relação SST/ATT (D) de mangas ‘Palmer’ em diferentes estádios de maturação. 45
- Figura 1.7** - Relação entre o índice de diferença de absorbância (Índice DA) e o índice de amadurecimento (IA) de mangas ‘Palmer’ em diferentes estádios de maturação..... 46
- Figura 1.8** - Exemplos de espectros de absorbância brutos, entre 450 nm e 1800 nm, para amostras de mangas 'Palmer' em diferentes estádios de maturação (35-170 dias após a floração – DAF; 10 e 20 dias após a colheita – DAC), escolhidas aleatoriamente. 47
- Figura 1.9** - Gráficos para pesos do carregamento das variáveis independentes dos melhores modelos PLSR, para firmeza (A), sólidos solúveis totais (B) e acidez total titulável (C). 50
- Figura 1.10** - Amostras e dados dos modelos de calibração (azuis) e de predição (vermelhos) para firmeza (A), sólidos solúveis totais (B) e acidez total titulável (C) para mangas ‘Palmer’. 51
- Figura 1.11** – Coeficientes dos modelos de regressão para determinação da firmeza (A), dos sólidos solúveis totais (B) e da acidez total titulável (C) de mangas ‘Palmer’. 52

CAPÍTULO 2

- Figura 2.1** - Procedimentos metodológicos para o uso de imagens no estudo da maturação de mangas. 62
- Figura 2.2** - Sistema de aquisição de imagens: fonte, câmera e caixa com demonstrativo de iluminações com LEDs de diferentes cores. 63
- Figura 2.3** – Etapas do pré-processamento das imagens: Imagem original (a); com aplicação do filtro da mediana (b); segmentada (c); tratada pela operação de abertura (d); após limiarização simples (e); imagem final (f), após a operação de fechamento. 64
- Figura 2.4** – Representação das regiões consideradas nas mangas para extração das variáveis de imagem. 66
- Figura 2.5** – Variáveis de imagens mais significativas para determinação da massa (A), firmeza (B), sólidos solúveis totais (C) e acidez total titulável (D) de mangas ‘Palmer’ 69
- Figura 2.6** – Coeficientes de determinação (A) e gráficos de dispersão para predição da massa de mangas ‘Palmer’ a partir de modelo da literatura (B) e abordagem proposta (C). 70
- Figura 2.7** – Coeficientes de determinação (A) e gráficos de dispersão para predição da firmeza de mangas ‘Palmer’ a partir de modelo da literatura (B) e abordagem proposta (C). 71
- Figura 2.8** – Coeficientes de determinação (A) e gráficos de dispersão para predição dos sólidos solúveis totais de mangas ‘Palmer’ a partir de modelo da literatura (B) e abordagem proposta (C). 72
- Figura 2.9** – Coeficientes de determinação (A) e gráficos de dispersão para predição da acidez total titulável de mangas ‘Palmer’ a partir de modelo da literatura (B) e abordagem proposta (C). 73

CAPÍTULO 3

- Figura 3.1** – Representação gráfica do trecho onde foram realizados os testes de vibrações. 79
- Figura 3.2** – Diagrama do sistema de aquisição de dados de vibração. 80
- Figura 3.3** – Bancada de base (A); bancada de mesa (B) e modelagem 3D da máquina (C).. 81
- Figura 3.4** – Posição dos relógios comparadores durante teste de balanceamento da máquina de vibração. 82
- Figura 3.5** – Diagrama esquemático com a vista geral (A), vista lateral (B) e vista frontal (C) da máquina vibratória. 83
- Figura 3.6** – Sistema para ensaios exploratórios na máquina vibratória. 83

Figura 3.7 – Análise de amplitude por bandas de frequência. RMS - valor médio quadrático	86
Figura 3.8 – Análise de amplitude por bandas de frequência de 0 a 100Hz.	87
Figura 3.9 – Visão frontal da máquina de vibração com mesa de madeira fixada.....	88
Figura 3.10 – Deformação das quatro molas utilizadas na máquina de vibração durante ensaio de compressão.	88
Figura 3.11 – Máquina de vibração com caixas tipo exportação contendo mangas ‘Palmer’ (A) e conjunto máquina e banca de inércia (B) utilizado nos ensaios experimentais.....	89
Figura 3.12 – Perda de massa de mangas ‘Palmer’ após vibração em diferentes frequências e armazenadas por vinte e oito dias sob refrigeração.	90
Figura 3.13 – Firmeza da polpa de mangas ‘Palmer’ após vibração em diferentes frequências e armazenadas por vinte e oito dias sob refrigeração.	91
Figura 3.14 – Índice de escurecimento da casca (A) e da polpa (B) de mangas ‘Palmer’ após vibração em diferentes frequências e armazenadas por vinte e oito dias sob refrigeração.	91
Figura 3.15 – Danos em mangas ‘Palmer’ após vibração com transporte simulado à 40 Hz, armazenadas por sete (A) e vinte e oito dias (B) sob refrigeração.	92
Figura 3.16 – Sólidos solúveis totais - SST (A) e acidez total titulável- ATT (B) de mangas ‘Palmer’ armazenadas por vinte e oito dias sob refrigeração.	93

LISTA DE TABELAS

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Tabela 1 – Exportação brasileira de frutas frescas nos anos de 2016 e 2017.....	17
Tabela 2 – Estimativa de área plantada de manga nos anos de 2017 e 2018, em diferentes regiões.....	18
Tabela 3 – Trabalhos desenvolvidos com extração de variáveis de imagens para diferentes variedades de manga.....	27

CAPÍTULO 1

Tabela 1.1 – Massa fresca, diâmetro longitudinal (DL) e diâmetro transversal (DT) de mangas ‘Palmer’ em diferentes fases da maturação.	42
Tabela 1.2 – Índice de diferença de absorvância (IDA) de mangas ‘Palmer’ em diferentes fases da maturação.....	43
Tabela 1.3 – Valores médios para índice de diferença de absorvância (IDA), componentes de cor da casca, L* - luminosidade, a* - intensidade da cor verde/vermelha e b* - intensidade de amarelo, e firmeza de mangas ‘Palmer’ em diferentes estádios de maturação.	43
Tabela 1.4 – Valores médios para sólidos solúveis totais (SST), acidez total titulável (ATT), relação SST/ATT e índice de amadurecimento (IA) para mangas ‘Palmer’ em diferentes estádios de maturação.....	44
Tabela 1.5 – Estatística descritiva para as amostras de mangas ‘Palmer’ utilizadas nos modelos de calibração (480 amostras) e de predição (240 amostras).....	46
Tabela 1.6 – Dados estatísticos dos modelos de regressão para atributos de qualidade de mangas ‘Palmer’, utilizando o espectro de 450 nm - 1800 nm.	48
Tabela 1.7 – Acurácia de classificação dos estádios de maturação de mangas ‘Palmer’ usando amostras espectrais de 450 a 1800 nm para os modelos.....	53

CAPÍTULO 2

Tabela 2.1 – Estatística descritiva para os valores de massa, firmeza, sólidos solúveis totais (SST) e acidez total titulável (ATT) de mangas ‘Palmer’ em diferentes estádios de maturação.....	68
Tabela 2.2 – Coeficientes de correlação (R) e erro quadrático médio (RMSE) para testes de predição dos atributos massa, firmeza, sólidos solúveis totais (SST) e acidez total titulável (ATT) de mangas ‘Palmer’, utilizando LEDs vermelho, verde, azul e branco frio.	68
Tabela 2.3 – Coeficientes de correlação (R) e erro quadrático médio (RMSE) obtidos pela Random Forest, com as melhores variáveis e com todas as variáveis de entrada, para predição dos atributos massa, firmeza, sólidos solúveis totais (SST) e acidez total titulável (ATT) de mangas ‘Palmer’.....	69

LISTA DE SIGLAS

ATT - Acidez total titulável

DAC – Dias após a colheita

DAF – Dias após a floração

DL – Diâmetro longitudinal

DA-Mahalanobis (*Mahalanobis Discriminant Analysis*) - Análise discriminante Mahalanobis

DT – Diâmetro transversal

HSI - imagem hiperspectral

HSV (hue-saturation-intensity) – Matiz-saturação-valor

IDA – Índice de diferença de absorbância

LAD (*Linear Discriminant Analysis*) – Análise discriminante linear

LED (*Light Emitting Diode*) - Diodo emissor de luz

MLR (*Multivariate linear regression*) - Regressão linear multivariada

MSC (*Multiple scatter correction*) - Correção de dispersão multiplicativa

NIR - Espectro eletromagnético infravermelho próximo

OSC (*Orthogonal signal correction*) - Correção do sinal ortogonal

PCR (*Principal component regression*) - Regressão por componentes principais

PLS (*Partial least squares*) - Regressão pelo método dos quadrados mínimos parciais

QDA (*Quadratic Discriminant Analysis*) – Análise discriminante quadrática

R^2 – Coeficiente de determinação de *Pearson*

RGB (*Red-green-blue*) - Sistema de cores, vermelho-verde-azul

RMSE_{cal} (*Root mean square error of calibration*) - Erro quadrático médio de calibração

RMSE_{cv} (*Root mean square error of validation*) - Erro quadrático médio de validação cruzada

RMSE_{pred} (*Root mean square error of prediction*) - Erro quadrático médio de predição

SNV (*Standard Normal variate*) - Variação normal padrão

SST - Sólidos solúveis totais

VIS - Espectro eletromagnético visível

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	14
2. OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo geral.....	16
2.2 Objetivos específicos	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1 Aspectos econômicos da produção de manga no Brasil.....	17
3.2 A variedade Palmer	19
3.3 Técnicas não destrutivas para avaliar a maturação de frutas.....	19
3.3.1 Uso de espectroscopia VIS-NIR	21
3.3.2 Uso de imagens.....	25
3.3 Danos por vibração durante o transporte rodoviário de mangas	28
4. CAPÍTULO 1 - USO DA ESPECTROSCOPIA PARA AVALIAR A MATURAÇÃO DE MANGAS ‘PALMER’	31
Resumo	32
4.1 Introdução.....	33
4.2 Material e Métodos.....	34
4.2.1 Coleta das amostras	34
4.2.2 Caracterização física	35
4.2.3 Experimento 1: Espectroscopia portátil baseada no índice DA para avaliar maturação de mangas ‘Palmer’	35
4.2.4 Experimento 2: Uso de espectroscopia de reflectância VIS-NIR para avaliar atributos de qualidade durante a maturação de mangas ‘Palmer’	37
4.3 Resultados e Discussão.....	42
4.3.1 Caracterização física	42
4.3.2 Experimento 1: Espectroscopia portátil baseada no índice DA para avaliar maturação de mangas ‘Palmer’	42
4.3.3 Experimento 2: Uso de espectroscopia de reflectância VIS-NIR para avaliar atributos de qualidade durante a maturação de mangas ‘Palmer’	46
4.4 Conclusões.....	53
Referências	54
5. CAPÍTULO 2 - PREDIÇÃO DE ATRIBUTOS DE QUALIDADE DE MANGAS ‘PALMER’ ATRAVÉS DO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS.....	58

Resumo	59
5.1 Introdução.....	60
5.2 Material e Métodos.....	61
5.2.1 Coleta das amostras.....	62
5.2.2 Aquisição das imagens.....	62
5.2.3 Processamento das imagens	63
5.2.4 Análises de referência	66
5.2.5 Construção dos modelos de calibração	67
5.3 Resultados e Discussão.....	67
5.4 Conclusões.....	73
Referências	73
6. CAPÍTULO 3 - DESENVOLVIMENTO DE MÁQUINA VIBRATÓRIA E SIMULAÇÃO DE TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE MANGAS ‘PALMER’	76
Resumo	77
6.1 Introdução.....	78
6.2 Material e Métodos	79
6.2.1 Análise do perfil das frequências geradas no transporte rodoviário de frutas.....	79
6.2.2 Desenvolvimento e ensaios exploratórios da máquina vibratória	81
6.2.3 Aquisição da matéria-prima.....	84
6.2.4 Condições experimentais	84
6.2.5 Avaliações durante o armazenamento	84
6.3 Resultados e Discussão	86
6.3.1 Análise do perfil das frequências geradas no transporte rodoviário de frutas.....	86
6.3.2 Desenvolvimento e ensaios exploratórios da máquina vibratória	87
6.3.3 Avaliações durante o armazenamento	89
Conclusões.....	93
Referências	94
CONSIDERAÇÕES FINAIS	96
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
APÊNDICES.....	105

1. INTRODUÇÃO GERAL

A produção de manga é uma atividade de grande expressão no cenário da fruticultura brasileira, mas ainda exige cuidados e observações de etapas da cadeia produtiva como a definição do ponto de colheita ideal, uma vez que a vida útil dos frutos nos mercados dependerá deste ponto, principalmente por se tratarem de frutos climatéricos.

O estágio inadequado de maturação fisiológica é uma das causas de perdas, ou redução da qualidade de mangas brasileiras, principalmente as que são exportadas por via marítima. Para a colheita da manga é importante conhecer o estágio de maturação, visto que o fruto colhido em estágio imaturo não alcançará o nível de qualidade aceitável para o consumidor.

Os métodos tradicionais e mais utilizados na determinação da maturação e qualidade de frutos baseiam-se em processos destrutivos e demorados, muitas vezes com amostragem inadequada, prejudicando a tomada de decisão dos produtores. Neste sentido, é importante o desenvolvimento e estudo de técnicas alternativas que permitam a determinação de atributos de qualidade, de forma precisa e não invasiva, principalmente no sentido de reduzir perdas quantitativas e qualitativas de produção.

Métodos como colorimetria, espectroscopia no visível, infravermelho próximo (VIS-NIR) e uso de imagens são alguns exemplos que vêm contribuir para a determinação dos diferentes pontos de maturação de frutos. A coloração do epicarpo e mesocarpo, já utilizada através do olhar humano, tem potencial para se tornar uma alternativa eficiente na determinação da qualidade de frutos antes da colheita, através de tecnologias óticas e de imagens.

O uso de espectroscopia VIS-NIR também vem crescendo em pesquisas com frutas, contudo ainda necessita de estudos mais aprofundados, com maior acurácia, com repetibilidade de campo, tempos de colheita diferenciados, que correlacionem a curva de crescimento do fruto com sua maturação na planta e que abordem variedades de importância econômica para o agronegócio brasileiro.

Para o uso dessas técnicas, um passo importante é realizar outros tipos e formas de classificação e compará-los, utilizando uma grande amostragem para o desenvolvimento de modelos de classificação e predição, levando-se em consideração atributos de qualidade adotados rotineiramente por fazendas, como a firmeza e o teor de sólidos solúveis.

Algumas técnicas não destrutivas já vêm sendo testadas em caráter científico para avaliar maturação ou amadurecimento de frutos de manga de diferentes cultivares como, ‘Osteen’ (CÓRTEZ et al., 2016), ‘Nam Dokmai’ (RUNGPICHAYAPICHET et al., 2016),

‘Keitt’ e ‘Nam Dok Mai Si Thong’ (THEANJUMPOL et al., 2013), ‘Kent’ (MUNAWAR et al., 2016), ‘Tommy Atkins’ (MARQUES et al., 2016) e ‘Carabao’ (ABARRA et al., 2018). No entanto, diferenças entre cultivares e no ambiente de cultivo podem afetar o desempenho e consistência dos índices de maturação, tanto que atualmente não há consenso sobre o índice ideal para a manga, especialmente para a cultivar ‘Palmer’ que tem se destacado no cenário nacional e internacional.

Além disso, esses estudos ainda são incipientes no Brasil, bem como na região do Vale do São Francisco, principal polo de produção de mangas no País, demonstrando serem ferramentas novas e importantes para determinação do estágio de maturação desses frutos no campo, de forma simples, rápida e precisa. Os métodos não destrutivos de acesso à maturação de mangas também podem ser adotados na pós-colheita e serem úteis para a seleção de frutos de forma não invasiva visando lotes mais homogêneos, em *packing houses* e centros de distribuição.

O grau de maturidade ideal depende de muitos fatores, entre eles o tempo que a manga levará para ser consumida ou industrializada. Assim, além das perdas decorrentes da colheita em estágio inadequado, práticas de manuseio, acondicionamento e transporte podem reduzir a vida pós-colheita do fruto, tornando limitada a distribuição para mercados consumidores mais distantes.

Desde a colheita até chegar ao consumidor os frutos podem estar submetidos a diferentes injúrias mecânicas provocadas por impactos, compressões, vibrações, abrasões e cortes. Entre as diversas condições de carga de força experimentadas durante o transporte, a vibração é um dos fatores-chave que podem resultar em danos imediatos ou latentes, que venham acelerar alterações metabólicas, alterando a qualidade nutricional ou sensorial do produto e desvalorizando-o comercialmente.

Além do uso de veículos inadequados, a ocorrência de danos durante o transporte pode ser influenciada pelo estado de conservação das estradas, as frequências de vibração e a distância percorrida. Logo, ensaios de vibração podem simular ocorrências observadas no transporte de frutas, a fim de evitar danos que podem ter efeito cumulativo e propor soluções para redução de uma fonte adicional de danos na cadeia produtiva da manga.

De modo geral, este estudo propõe a avaliação de métodos e ensaios pouco difundidos na mangicultura brasileira, com potencial para adoção em rotinas de caráter científico com vistas à inclusão no processo produtivo da manga voltada à exportação.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar técnicas não destrutivas na determinação de parâmetros de maturação de mangas ‘Palmer’ e o efeito do estresse por vibração na qualidade dos frutos armazenados.

2.2 Objetivos específicos

- ✓ Avaliar a maturação de mangas ‘Palmer’ utilizando espectroscopia portátil, correlacionando o índice de diferença de absorbância (índice DA) com parâmetros de qualidade (firmeza, sólidos solúveis totais, acidez total titulável, relação SST/ATT e índice de amadurecimento);
- ✓ Desenvolver modelos de regressão a partir da espectroscopia de reflectância VIS-NIR para determinar atributos de qualidade (firmeza, sólidos solúveis totais e acidez total titulável) durante a maturação de mangas ‘Palmer’;
- ✓ Identificar respostas espectrais em mangas ‘Palmer’ que caracterizem os atributos firmeza, sólidos solúveis totais e acidez total titulável;
- ✓ Desenvolver modelos de classificação para diferenciar estádios de maturação de mangas ‘Palmer’;
- ✓ Usar imagens para identificação das variáveis que devem ser extraídas para a predição de atributos de qualidade de mangas ‘Palmer’ em diferentes estádios de maturação;
- ✓ Desenvolver e testar um protótipo de máquina vibratória para simular o transporte rodoviário de mangas;
- ✓ Avaliar a qualidade de mangas ‘Palmer’ no armazenamento, após esforços vibracionais durante o transporte simulado em máquina vibratória, considerando perda de massa, índice de escurecimento da casca e da polpa, firmeza da polpa, sólidos solúveis totais e acidez total titulável.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Aspectos econômicos da produção de manga no Brasil

A mangueira (*Mangifera indica* L.) é uma das frutíferas mais importantes a nível mundial, cultivada em mais de 90 países (LIU et al., 2013). Em 2017 a manga foi a fruta tropical mais produzida, respondendo por mais da metade da produção mundial total de frutas tropicais nesse ano (ALTENDORF, 2019). No ano seguinte esteve entre as quatro frutas mais exportadas do mundo, com grande demanda nos dois principais mercados de importação, os Estados Unidos e a União Europeia, apoiada pelo aroma atraente, excelente sabor e preferência do consumidor em comparação a frutas mais comuns, como banana e abacaxi (FAO, 2018; WANNABUSSAPAWICH; SERAYPHEAP, 2018).

O Brasil ficou em terceiro lugar no ranking mundial das exportações de manga (FAO, 2019), principalmente pela capacidade de produzir mangas perenemente (ALTENDORF, 2019). O volume comercializado da fruta no País cresce todos os anos, enquanto os embarques somam recorde de exportação, tanto em volume quanto em receita. Em 2016 o Brasil embarcou 154.211 toneladas, com movimentação de US\$ 179.932.100 milhões e em 2017, foram exportadas 179.601 toneladas, com negócios na ordem de US\$ 205.111.150 milhões, liderando em receita entre as frutas frescas exportadas (Tabela 1). Os maiores compradores da fruta são a União Europeia, 132.820 toneladas, e os Estados Unidos, 33.095 toneladas (KIST et al., 2018).

Tabela 1 - Exportação brasileira de frutas frescas nos anos de 2016 e 2017.

Frutas	2016		2017	
	Peso (Kg)	Valor (US\$)	Peso (Kg)	Valor (US\$)
Mangas	154.211.079	179.932.100	179.601.248	205.111.150
Melões	224.688.423	148.741.470	233.652.626	162.916.237
Limões e limas	95.747.978	89.932.214	92.392.875	82.088.717
Uvas	30.815.617	65.262.190	44.494.946	96.213.076
Maçãs	30.696.465	18.334.603	55.437.969	41.893.023

Fonte: Kist et al. (2018)

Projeções feitas pelo Ministério da Agricultura (BRASIL, 2018) indicam potencial de crescimento da produção de 14,2% de 2017/2018 para 2027/2028 (Figura 1), sendo o mercado interno e a demanda internacional os principais fatores de crescimento. Já as exportações podem

ter um aumento de 64,9%, configurando um dos produtos mais dinâmicos do agronegócio brasileiro.

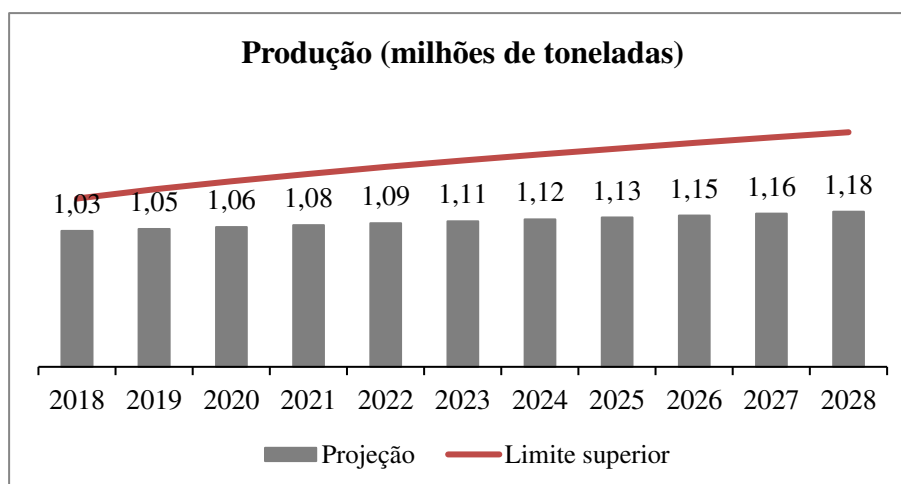


Figura 1 - Projeções para produção de manga no Brasil do ano de 2018 até o ano 2028.
Fonte: BRASIL (2018)

A manga é produzida em quase todos os estados brasileiros, sendo a Bahia o maior produtor, com 21.370 hectares de área colhida e volume de 353.689 toneladas. Seguida do estado de Pernambuco, com 230.381 toneladas da fruta (KIST et al., 2018).

A região do Submédio do Vale do São Francisco tem posição de destaque na produção de mangas no Brasil, registrando um aumento de mais de 10% da área plantada entre os anos de 2017 e 2018 (Tabela 2). Em 2019, os investimentos em novos plantios de manga devem continuar nas regiões de Juazeiro - BA, e Petrolina - PE, mas em ritmo menos intenso do que o observado em 2018, haja vista a grande área já plantada recentemente e que, inclusive, deve resultar em aumento da oferta em 2019 e nos anos seguintes (HFBRASIL, 2019).

Tabela 2 - Estimativa de área plantada de manga nos anos de 2017 e 2018, em diferentes regiões.

Região	Área plantada (ha)	
	2017	2018
Vale do São Francisco	27.170	30.300
Livramento de Nossa Senhora (BA)	12.000	12.000
Interior de São Paulo	8.887	8.570
Norte de Minas Gerais	6.060	7.000

Fonte: Hortifruti Brasil (2019)

3.2 A variedade Palmer

A manga ‘Palmer’, originária da Flórida, é uma variedade que apresenta porte baixo ou intermediário, hábito de crescimento aberto e vertical, vigor moderado, regularidade na produção e vulnerabilidade ao colapso interno inferior à constatada em variedades como Tommy Atkins e Haden. Os frutos, que podem pesar até 900 g, são extremamente aromáticos, compridos, firmes, completamente desprovidos de fibras, esverdeados ou arroxeados nos estádios de amadurecimento e vermelhos quando maduros, apresentando polpa bem amarelada (MOUCO; LIMA NETO, 2018). A relação polpa/fruto é de 72%, apresenta boa vida útil, é bem aceita no mercado interno e apresenta boas perspectivas para a exportação (TEIXEIRA; DURIGAN, 2011; MODESTO, 2013).

O plantio de mangas sem fibras no Brasil, como ‘Palmer’, ‘Keitt’ e ‘Kent’, destinadas principalmente para o bloco europeu, foi maior em relação à ‘Tommy Atkins (HFBRASIL, 2019), cenário confirmado na região do Vale do São Francisco onde a ‘Palmer’ tem ganhado espaço, em decorrência de novos plantios e, também, da sobre-enxertia em plantios da variedade ‘Tommy Atkins’ (TRINDADE; LIMA; ASSIS, 2015).

Souza et al. (2018) estudando o desempenho produtivo de três cultivares de mangueira (‘Espada Vermelha’, ‘Keitt’ e ‘Palmer’) em condições subtropicais no Brasil, concluíram que a ‘Palmer’ apresentou o melhor desempenho produtivo, independente do ciclo agrícola avaliado, o que demonstra que a variedade tende a ganhar mais espaço no mercado nacional e internacional e potencializa a necessidade de estudos que visem melhorar o processo produtivo da mesma, desde o campo até cuidados pós-colheita, como manuseio e transporte, principalmente pelo fato da fruta ser consumida essencialmente na forma *in natura*.

3.3 Técnicas não destrutivas para avaliar a maturação de frutas

O sucesso da participação brasileira no mercado estrangeiro é aliado ao nível tecnológico adotado, o que permite o atendimento aos padrões de qualidade internacionais e a safra, ainda nos primeiros tempos de maturação (BETEMPS; FACHINELLO; GALARÇA, 2011). O amplo conhecimento da maturação da manga nas condições regionais de cultivo é relevante, por ser a qualidade final do fruto na prateleira bastante heterogênea, considerando-se o tamanho, a qualidade do paladar e o comportamento pós-colheita (LÉCHAUDEL; JOAS, 2007), sendo de grande importância reduzir as perdas das exportações em virtude dos frutos não oferecerem a qualidade exigida pelo consumidor.

A avaliação da qualidade da manga na colheita, antes baseada numa escala visual a partir da cor da casca e tamanho, se fundamenta atualmente em diferentes características externas e internas aos frutos, como: firmeza, cor da polpa, aroma, sabor, teor de sólidos solúveis, acidez total titulável, relação SST/ATT, pH, açúcares redutores, substâncias voláteis e ácido ascórbico, entre outros (JHA; KINGSLY; CHOPRA, 2006; SANTOS et al., 2008; CANUTO; SOUZA NETO; GARRUTI, 2009; ABBASI et al., 2011; AULAR; NATALE, 2013).

Para Padda et al. (2011), a firmeza é a melhor ferramenta para avaliar alterações durante o amadurecimento de manga, seguido dos sólidos solúveis totais e da intensidade de amarelo para cor da polpa. Já Costa et al. (2017) afirmaram que além do teor de sólidos solúveis, o componente *a* da cor da casca, a acidez total titulável e a relação SST/ATT sólidos solúveis/acidez titulável caracterizaram melhor os diferentes estádios de maturação de mangas ‘Tommy Atkins’, principalmente os estádios mais avançados. Uma avaliação conjunta dos atributos de qualidade pode melhorar a identificação dos estádios de maturação e acompanhar o processo de amadurecimento pós-colheita dos frutos (CUNHA JÚNIOR et al., 2007).

Essas avaliações requerem destruição de frutos, logo, são realizadas em algumas amostras muitas vezes não totalmente representativas da variabilidade que está presente na planta ou dentro de lotes de frutas (ZIOSI et al., 2008), o que implica em perda de produção, além de demandarem tempo e mão de obra.

Nos últimos anos, pesquisas têm sido focadas no desenvolvimento de técnicas não destrutivas para avaliação da qualidade de produtos agrícolas, incluindo a classificação e controle de qualidade de frutos e vegetais, usando, por exemplo: *biospeckle laser* (ANSARI; NIRALA, 2013; ZDUNEK et al., 2014; COSTA, 2015), visão artificial com intensidade de cor (RAZALI et al., 2008) e dados espectrais de reflectância (SAEED et al., 2012).

A adoção desses métodos em período pós-colheita pode ser bastante útil para uso na seleção de frutos de forma não invasiva visando lotes mais homogêneos, especialmente em *packing houses*. Entretanto, esses métodos podem ser estudados para aplicação no campo na determinação do ponto de colheita.

Assim, o desenvolvimento de métodos não destrutivos, pode assegurar a entrega de um produto de qualidade aos consumidores, analisando-os um a um de forma confiável, rápida e precisa, exigindo pouca mão-de-obra (MARQUES et al., 2016).

3.3.1 Uso de espectroscopia VIS-NIR

A espectroscopia de reflectância fundamenta-se na intensidade de energia refletida, emitida ou espalhada em diferentes comprimentos de onda por uma amostra quando exposta a uma determinada radiação eletromagnética (CLARK, 1999).

Vários ensaios têm sido feitos para substituir as análises sensoriais e/ou instrumentais por tecnologias mecânicas, ópticas e eletromagnéticas. Particularmente, entre as técnicas de utilização eletromagnética, destaca-se a espectroscopia no visível (VIS) e no infravermelho próximo (NIR) (BETEMPS, 2011).

O espectro eletromagnético entre 390 e 900 nanômetros (nm) determina o espectro da luz. Além da forma visível que conhecemos, esse espectro contém também a luz infravermelha e a ultravioleta. A região do visível (violeta, azul, verde, amarelo, laranja e vermelho) compreende entre 390 a 700 nm, aproximadamente (Figura 2). Já a região do infravermelho (IV) é subdividida em três, uma delas é a do infravermelho-próximo (~700 - 2500 nm), região do espectro eletromagnético imediatamente superior à região visível em termos de comprimento de onda, e conseqüentemente menor frequência (LIMA; BAKKER, 2011).

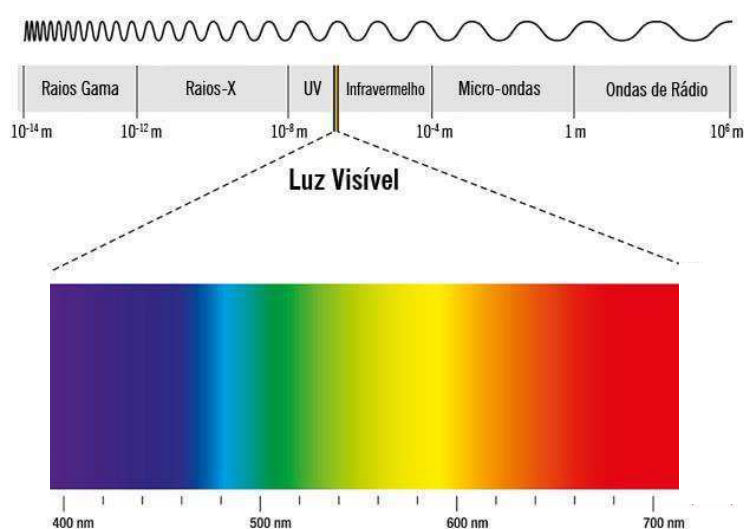


Figura 2 - Espectro eletromagnético com destaque para a região do visível.

Fonte: <https://www.todamateria.com.br/espectro-eletromagnetico/>

Os métodos ópticos baseados nas técnicas da espectroscopia do visível (VIS) e do infravermelho próximo (NIR) são apontadas como uma evolução de métodos clássicos, permitindo avaliar vários compostos em produtos ao mesmo tempo, sem a destruição das amostras (BETEMPS, 2011). Essas características tornam a espectroscopia uma ferramenta

importante para o controle da qualidade do fruto de forma rápida e não destrutiva (MARQUES et al., 2016).

A propagação de radiação NIR em frutas e vegetais atinge sua microestrutura, e pode ser útil para verificar as propriedades como a rigidez, danos internos, e até mesmo atributos sensoriais. Portanto, esta técnica permite analisar a amostra, obtendo informações qualitativas e quantitativas proveniente da interação das ondas eletromagnéticas do infravermelho próximo, com seus constituintes (NASCIMENTO, 2015).

O processo de aquisição dos espectros geralmente é complexo e os dados são multivariados, para tanto, são aplicados métodos de quimiometria para extrair informações dos atributos de qualidade e para eliminar interferências de fatores irrelevantes nas amostras, reduzindo a matriz de dados original, pré-processados e realizando análises de classificação ou regressão. Para tanto são desenvolvidos programas computacionais contendo as principais ferramentas para classificação, discriminação e predição de amostras (PULIDO et al., 2013).

Estudos desenvolvidos por Jha et al. (2014) em pomares de mangas de diferentes estados indianos indicaram o potencial de espectros NIR na predição da maturidade dos frutos, utilizando como melhor previsão o modelo dos mínimos quadrados parciais (PLS) após tratamento dos dados na faixa de comprimento de onda de 1600-1800 nm.

Córtes et al. (2016) estudaram a qualidade interna de mangas 'Osteen', com base nos sólidos solúveis totais, firmeza e cor, a partir de espectroscopia de reflexão visível e infravermelho. Os espectros de reflectância foram obtidos usando diferentes sensores de medição, envolvendo um espectrômetro, capaz de medir em diferentes faixas espectrais (600-1100 nm e 900-1750 nm), e um espectrocolorímetro que mediu na faixa visível (400-700 nm). Os resultados obtidos a partir desse estudo revelaram que a espectroscopia de reflexão externa visível e infravermelho próximo pode ser usada como um método não destrutivo para determinar a qualidade interna da manga cv. 'Osteen'. Estudos com mangas da cultivar 'Nam Dokmai', também indicaram que a espectroscopia NIR pode ser usada como uma técnica não destrutiva confiável para a avaliação da qualidade e classificação da maturação, usando espectros de reflectância na região de 700-1100 nm para desenvolver modelos de calibração para firmeza, sólidos solúveis totais, acidez total titulável e índice de amadurecimento, usando análise de regressão de mínimos quadrados parciais (PLS) (RUNGPICHAYAPICHET et al., 2016).

Estudos também foram desenvolvidos com outras variedades de mangas, como mangas 'Keitt' e 'Nam Dok Mai Si Thong', produzidas na Tailândia; e mangas 'Kent' de diferentes origens encontradas no mercado em Gottingen na Alemanha, observando que a espectroscopia

NIR e métodos quimiométricos são viáveis para uma predição rápida e não destrutiva da qualidade dessas cultivares (THEANJUMPOL et al., 2013; MUNAWAR et al., 2016).

Embora os resultados possam ser encontrados em relação à espectroscopia NIR portátil para estimar a maturidade em frutos de manga, não há índices de maturidade padrão, principalmente devido à diversidade de cultivares e condições de crescimento, portanto, é essencial desenvolvê-las para uma cultivar particular, região e para mercados locais ou de exportação (YAHIA, 2011; SANTOS NETO et al., 2017)

Estudos iniciais desenvolvidos com mangas ‘Tommy Atkins’, utilizando espectrômetro infravermelho portátil, verificaram que os modelos preditivos permitiram o monitoramento de alterações físico-químicas em cada fruto durante o amadurecimento, quanto aos atributos de qualidade sólidos solúveis, acidez titulável, firmeza de polpa e matéria seca. Apesar de alguns coeficientes de determinação não serem muito elevados, 0,67 para matéria seca e 0,50 para ácido cítrico, a técnica foi considerada promissora, podendo ser usada por produtores, carregadores e varejistas para avaliar e monitorar a qualidade de mangas oferecida aos consumidores (MARQUES et al., 2016). No entanto, o equipamento utilizado nesse trabalho, usou uma faixa limitada de comprimento de onda, entre 950 nm e 1650 nm e foram avaliados poucos estádios de maturação, sendo importante o estudo de todo o processo de desenvolvimento dos frutos.

Santos Neto et al. (2017) iniciaram estudos para desenvolver modelos de calibração para sólidos solúveis e matéria seca durante o desenvolvimento de mangas ‘Palmer’, usando espectrômetro portátil VIS-NIR, na faixa de comprimento de onda de 306-1140 nm. Os resultados indicaram que o espectrômetro portátil em questão pode ser usado para determinar as variáveis respostas para mangas 'Palmer' produzidas em pomar comercial na cidade Cândido Rodrigues, SP. Contudo, os autores reforçaram a necessidade de incorporar mais fontes de variação, reduzir os valores do erro quadrático médio de predição (RMSE) e melhorar a robustez, tendo em vista, que não há informação relacionada à manga 'Palmer', que é uma variedade americana de época tardia, amplamente exportada do Brasil e é comum obter relatórios de problemas de qualidade da fruta, principalmente devido à maturidade.

O estudo de técnicas não destrutivas para determinar a maturação de mangas, pode melhorar a qualidade do produto em processos pré e pós-colheita, além de auxiliar no desenvolvimento de dispositivos que auxiliem na tomada de decisões durante a cadeia produtiva da manga. Nos últimos anos, estudos estão voltados para a redução significativa no tamanho e custo de espectrômetros NIR. O uso de instrumentos portáteis oferece a possibilidade de se medir diretamente em campo (*in situ*) importantes parâmetros de qualidade. O desenvolvimento

destes equipamentos pode reduzir custos, determinar com precisão o ponto de colheita e preservar a amostra de excessivo manuseio e transporte (GARRIGUES; LA GUARDIA, 2013).

Um desses equipamentos desenvolvidos, cuja patente pertence à Universidade de Bolonha na Itália (2005), é o DA-meter, que permite determinar a diferença de absorvância provenientes dos frutos, ao serem submetidos a um espectro emitido entre dois comprimentos de onda próximos ao do pico de absorção da clorofila-a (BETEMPS; FACHINELLO; GALARÇA, 2011).

O equipamento é constituído de uma fonte luminosa composta de seis LEDs de diodo, posicionados ao redor de um fotodiodo. Três LEDs emitem comprimentos de onda de 670 nm e outros três em comprimento de 720 nm. As frutas são submetidas a iluminação de curta duração com as duas fontes monocromáticas e no âmbito de cada um deles, a quantidade de luz reemitida a partir da fruta é captada e medida pelo fotodiodo central. A luz recebida é então convertida e elaborada por um micro-controlador para o cálculo do índice de diferença de absorvância - IDA (BETEMPS; FACHINELLO; GALARÇA, 2011). Os sinais de interactivância (I) e de absorvância (A) obtidos pelo aparelho e o cálculo do índice se baseia na lei de Beer ($A = \log_{10} I_0/I$) a ser calculado como descrito por Noferini, Fiori e Costa (2009).

O índice DA apresenta uma escala de 0 (frutos muito maduros) a 5 (frutas extremamente verdes) e este índice permite supervisionar as alterações fisiológicas que ocorrem durante o amadurecimento (BETEMPS; FACHINELLO; GALARÇA, 2011). Esses valores podem variar entre espécies e variedades de frutas, como verificado em estudos com nectarinas (ZIOSI et al., 2008), kiwi (NOFERINI; FIORI; COSTA, 2009), maçãs (NYASORDZI et al., 2013; TOIVONEN; HAMPSON, 2014) e pêssegos (ANDRADE et al., 2015; SPADONI et al., 2016).

Baseando-se no índice DA para separar pêssegos das cultivares ‘Chimarrita’ e ‘Maciel’ em diferentes estádios de maturação, Andrade et al. (2015) notaram que para pêssegos da cultivar Maciel no índice de maturação DA 1 (superior a 1,5) é possível a conservação com menores perdas até os 20 dias a 1 °C + 2 dias a 20 °C e no índice de maturação DA 2 (entre 1,5 e 0,75), é possível a conservação por 10 dias a 1 °C + 2 dias a 20 °C. Já Spadoni et al. (2016) verificaram a possibilidade de classificar pêssegos em duas classes de índice DA que mostraram diferentes incidências de podridão marrom durante o armazenamento. Clif e Toivonen (2017) identificaram que uma única medida tomada em um lado parcialmente exposto da fruta forneceu um valor de maturidade confiável para maçãs ‘Ambosia’, quando se comparou frutos em diferentes classes de índice DA com a concentração de amido dos mesmos.

Em estudos com mangas ‘Tommy Atkins’, Betemps, Fachinello e Galarça (2011) e Goulart et al. (2013), separaram os frutos através do índice DA em categorias de acordo com o

grau de maturação, demonstrando a grande heterogeneidade com que os frutos são oferecidos ao consumidor, tendo em vista que os mesmos foram adquiridos em centro de distribuição na cidade de Pelotas, RS.

Levando-se em consideração que para os estudos com manga supracitados foram utilizados frutos na linha de comercialização, faz-se necessário avaliar também o processo de maturação e conseqüente ponto de colheita, a fim de garantir a qualidade e uniformização do produto fornecido ao consumidor.

Estudos voltados para avaliar a maturação de mangas ‘Palmer’ utilizando o equipamento DA-meter, não foram encontrados na literatura, o que reforça a necessidade de se testar métodos rápidos e confiáveis para determinação da maturação e amadurecimento dos frutos, notadamente para a região do Vale do São Francisco, podendo correlacionar o índice DA com atributos de qualidade como sólidos solúveis totais, acidez total titulável e firmeza de polpa.

3.3.2 Uso de imagens

O potencial de técnicas não destrutivas como ferramentas de avaliação e classificação de frutas vem sendo alvo de diferentes estudos. Modalidades de imagens são investigadas para a avaliação da qualidade, desde imagens do infravermelho próximo (NIR), a imagens multi e hiperespectrais, imagens de reflexão de iluminação estruturada, imagens visíveis à base de luz monocromática ou preto / branco até imagens em cores ou RGB (vermelho, verde e azul) (LI; HUANG; ZHAO, 2015).

Rungpichayapichet et al. (2017) utilizando imagem hiperspectral (HSI), verificaram que a técnica não destrutiva foi efetiva para determinar a qualidade de mangas cv. Nam Dokmai, quanto à firmeza, sólidos solúveis totais e acidez total titulável, o que pode potencializar as capacidades de classificação no manuseio e processamento industrial da manga. A técnica baseada em HSI também já foi estudada em mangas para detectar infestação de mosca de fruta (HAFF et al., 2013; SARANWONG et al., 2011), danos mecânicos (VELEZ RIVERA et al., 2014), distribuição de umidade em fatias de manga seca (PU; SUN, 2015) e qualidade pós-colheita, incluindo cor, firmeza e sólidos solúveis totais (MAKINO et al., 2013; RUNGPICHAYAPICHET et al., 2017).

A tecnologia de imagem espectral, que adquire imagens únicas ou múltiplas, em comprimentos de onda selecionados, também pode ser utilizada para detecção de atributos específicos de qualidade de produtos hortícolas. Sensores de imagens VIS também são

tecnologias eficazes para detecção de qualidade das frutas, especialmente da maturação (RUIZ-ALTISENT et al., 2010).

O monitoramento do controle de qualidade de frutos por meio de imagens digitais tem recebido atenção especial devido ao aumento na demanda por produtos com alto grau de qualidade num curto período de tempo. Como esses estudos baseiam-se na avaliação das alterações nos padrões de imagens por meio dos modelos de cores, possuem especificidades a depender do produto agrícola, que pode apresentar características distintas quanto à uniformidade e intensidade da cor, de acordo com o cultivar, condições ambientais durante o ciclo produtivo e estágio de maturação fisiológica do fruto (COSTA, 2015).

Melo (2015), utilizou a visão computacional por imagens para selecionar e classificar mangas, de variedade 'Palmer', quanto ao calibre (peso/tamanho) e cor, substituindo a tomada de decisão humana, e obteve uma acurácia de 100% para a classificação por cor, e 78% para o calibre. O sistema de classificação automatizada não só acelera o tempo do processo, mas também minimiza o erro por isso existe uma forte necessidade de desenvolvimento de métodos eficientes para classificação automatizada de mangas.

A aplicação de sistemas de imagens digitais em estudos com alimentos, de modo geral vêm sendo focada na determinação de cor pela obtenção do espaço de cor CIE Lab (PEREIRA, 2017). No entanto, estes colorímetros conseguem avaliar uma pequena área, com superfície entre 10 a 30 mm² (KANG et al., 2008), não podendo assim representar a variação de cor global de um produto com uma única medida. Com a análise e processamento de imagens digitais *RGB* (vermelho, verde, azul) é possível avaliar a mudança de coloração dos frutos de forma objetiva, integral e representativa, assim como correlacionar com atributos físico-químicos da polpa (NAGLE et al., 2016).

Cerovic et al. (2008) fazendo uso das imagens nas bandas do RGB com diferentes fontes de irradiação, e recombinação dessas bandas, sugeriram um modelo de predição do conteúdo de antocianinas em uvas. Amarasinghe e Sonnadara (2009), através da técnica de processamento de imagens RGB avaliaram o índice de mudança de cor do mamão papaia 'Red Lady' de acordo com a maturação dos frutos. Já Pereira (2017), com o cálculo das coordenadas de cor pelo processamento de imagens do mamão 'Golden' obteve um adequado índice de classificação, sobretudo em relação às amostras mais verdes.

A análise da cor por meio de imagens digitais é realizada através dos valores de reflectância da energia eletromagnética, sendo necessário o conhecimento dos modelos de representação das cores, para facilitar a especificação das cores de forma padronizada (GONZALEZ; WOODS, 2010). Um dos aspectos mais importantes do uso do sistema de

imagens digitais é a etapa de processamento das imagens, onde câmeras digitais obtêm valores expressos em RGB, os quais precisam ser transformados em outros espaços de cor como o Lab e o HSV (Matiz, saturação e valor) (WU; SUN, 2013).

As técnicas usadas na análise de imagens incluem aquisição de imagem, pré-processamento, interpretação e seleção dos objetos de interesse das imagens (NARENDRA; HAREESH, 2010). Costa (2015) desenvolveu classificadores por meio de redes neurais para classificar frutos de macaúba aptos para colheita em função das propriedades colorimétricas, provenientes dos modelos de cores RGB, HSI e CIELab, relacionando-as com o teor de óleo contido no mesocarpo dos frutos.

As características óticas obtidas a partir dos modelos de cores são relacionadas com parâmetros de qualidade de produtos agrícolas, como no uso da intensidade de vermelho, verde e azul na identificação de diferentes estádios de maturação (LÓPEZ CAMELO; GOMEZ, 2004; SHAH RIZAM et al., 2009; JI et al., 2013; BENHURA et al., 2014; COSTA, 2015). Como ressaltado por Melo (2015), ainda precisa desenvolver muitos estudos para a obtenção de sistemas de classificação computacionais baseados em imagens com frutos de manga, em especial, para a variedade ‘Palmer’, que vem crescendo em produção no Brasil e no mundo. Sugerindo ainda o estudo de características internas relacionadas ao grau de maturação do fruto, com aplicação na seleção e classificação de mangas para o mercado interno e externo.

Estudos com mangas de diferentes cultivares utilizando imagens vêm sendo desenvolvidos, no entanto, diferenças entre elas e também no ambiente de cultivo podem afetar o desempenho e consistência dos índices de maturação, não havendo uma unanimidade ou uniformização quanto às variáveis extraídas e atributos de qualidade estimados, como sumarizados na Tabela 3.

Tabela 3 - Trabalhos desenvolvidos com extração de variáveis de imagens para diferentes variedades de manga.

Autores	Atributo alvo	Variedade	RGB	R/G, R/B e S/H	HSV	HSV dominante	L*a*b	Nº pixels	Diâmetro
Teoh e Syalfusin (2007)	Massa	Chokanan						X	
Khairunniza-Bejo e Kamarudin (2011)	SST	Chokanan			X				
Zheng e Lu (2012)	Senescência	Sannianmang					X		

Nandi et al. (2014)	Senescência	Amrapali, Langra, Himsagar	X			
Vélez-Rivera et al. (2014)	Maturação	Manile		X		X
Pandey et al. (2014)	Tamanho e doença	Totapuri, Badami, Neelam			X	X X
Yahaya et al. (2015)	Firmeza, SST e ATT	Sala	X			
Salunkhe et al. (2015)	Maturação	Alphonso	X	X	X	
Yosy et al. (2017)	Maturação	Gincu				X
Abarra et al. (2018)	Firmeza, SST e ATT	Carabao	X		X	X

Yahaya et al. (2015) determinaram os atributos sólidos solúveis totais, acidez total titulável e firmeza em mangas ‘Sala’, extraindo os valores médios no espaço RGB e utilizando como técnica de inferência a MLR (*Multiple Linear Regression*), obtendo coeficientes de correlação de 0,814, 0,913 e 0,875, respectivamente. Yosy et al. (2017) classificaram mangas da variedade Gincu quanto ao estágio de maturação e tamanho. As imagens foram convertidas do espaço RGB para o HSV, de forma a determinar a cor dominante da manga, e foi utilizada rede neural com função e ativação do tipo sigmoide e algoritmo *back propagation*, com a acurácia igual a 94%.

Em estudos com mangas da variedade Carabao, Abarra et al. (2018) determinaram os atributos açúcares totais, amido total, firmeza, SST, ATT e açúcares redutores, sem o emprego de pré-processamento nas imagens. As variáveis extraídas consistiram nos valores médios das intensidades dos pixels nos espaços RGB, HSV e $L^*a^*b^*$, sendo utilizadas como variáveis de entrada em modelos de regressão linear para cada atributo de qualidade. Os melhores resultados alcançados foram para a acidez titulável e a firmeza, ao utilizar apenas o parâmetro L^* , obtendo coeficientes de correlação iguais a 0,977 e 0,968, respectivamente.

Percebe-se que não há consenso sobre a escolha de técnicas de pré-processamento de imagens e atributos empregados, podendo depender da variedade analisada e da natureza do problema.

3.3 Danos por vibração durante o transporte rodoviário de mangas

As demandas dos mercados de frutas frescas exigem eficiência na pós-colheita, no armazenamento e na distribuição, para atender os requisitos dos consumidores. No Brasil, os produtos do setor da fruticultura são escoados exclusivamente por transporte rodoviário no

percurso nacional da mercadoria, destinando 98,3% da produção para os recintos alfandegados portuários, a partir deles, as mercadorias seguem para o mercado internacional por meio de transporte marítimo (PEREIRA; FERREIRA, 2016).

Em 2016, as exportações de frutas produzidas na região do Submédio Vale do São Francisco, com destaque para as cidades de Petrolina - PE, e Juazeiro - BA, se concentrava nos portos de Pecém - CE (50%), Natal - RN (30%) e Salvador - BA (20%), existindo boas perspectivas do terminal baiano passar a ser a principal via de escoamento da manga e uva produzida no Vale, tendo em vista que o volume da entressafra exportado via Salvador cresceu 112% em 2015 (JCONLINE, 2017; AGROREVENDAS, 2017).

Como o transporte de produtos agrícolas é prioritariamente rodoviário, levando em consideração que dos mais de 100 mil quilômetros de rodovias avaliadas em 2017, 61,8% apresentaram deficiências (CNT, 2017), essas podem resultar em diferentes níveis de vibração durante a distribuição de frutas, os quais além das condições de estrada dependem, das características da embalagem, tipo de suspensão do veículo e velocidade de viagem, refletindo na frequência de vibrações (PEREIRA; FERREIRA, 2016).

Soleimani e Ahmadi (2014) analisando a vibração que ocorre em caminhões durante o transporte de frutas em função do sistema de suspensão do caminhão, da velocidade do veículo e das condições da superfície da estrada, verificaram que os níveis de vibração aumentaram com a velocidade de deslocamento e os níveis de vibração gerados a partir das condições da estrada de terra foram mais elevados do que em rodoviárias de asfalto, além disso, observou-se que a intensidade de vibração na direção vertical é maior que as direções lateral e longitudinal.

A intensidade dos danos provocados depende ainda do nível da frequência, da amplitude e do tempo de exposição a vibrações. Se durante o transporte for aplicada uma frequência de vibração igual a sua frequência natural, ocorrerá o movimento intenso das caixas e dos frutos no seu interior, podendo originar esforços intensos de abrasão entre os frutos e com as paredes da embalagem (FERNANDES, 2016).

Lacerda (2004) avaliando o efeito da vibração no transporte de figos, verificou que as frequências de 2 Hz e 13 Hz predominaram durante o percurso, sendo que a frequência de 13 Hz ocasionou danos mecânicos aos frutos, que apresentaram manchas escuras e umedecidas nas regiões de contato entre os mesmos. Jung e Park (2012), também observaram que o estresse de vibração, frequência aleatória de 1 ~ 200 Hz, acelerou a degradação da qualidade das maçãs 'Fuji' durante o armazenamento, resultando em aumento da perda de peso, teor de sólidos solúveis e produção de CO₂ e etileno, e diminuição da firmeza. Também trabalhando com

maçãs, Fadiji et al. (2016), verificaram que a incidência de danos foi afetada tanto pelo tipo de embalagem quanto pelas frequências (9, 12 e 15 Hz) utilizadas no transporte simulado.

Utilizando um vibrador de laboratório para simular o transporte rodoviário de Kiwi ‘Hayward’, Tabatabaekoloor, Hashemi e Taghizade (2013), verificaram que o acréscimo da frequência, de 7,5 para 13 Hz, resultou no aumento dos danos, mensurados pela porcentagem de frutos com danos com profundidade superior a 2 mm. Fernandes (2016), variando tanto a frequência (15, 20 e 25 Hz) quanto a amplitude (0,75 e 1,25 mm) de vibrações mecânicas na pós-colheita de tomates ‘Pizzadoro’, avaliaram que a exposição a vibrações acelerou o amadurecimento e intensificou os danos mecânicos dos frutos, a frequência de vibração teve maior influência no índice colorimétrico croma.

De modo geral, as vibrações que ocorrem nos veículos de transporte de frutos são indesejáveis, sendo importante a quantificação e caracterização de possíveis danos, pois atuam como diagnóstico da cadeia de comercialização e permitem identificar os pontos críticos, como falta de cuidado no manuseio e a utilização de embalagens e transporte inadequados (LEITE et al., 2010).

Como relatado por Fernandes (2016), ao se pesquisar sobre simulações nas condições de transporte de frutos, muitos experimentos abordam danos causados por impacto e por compressão, como nos trabalhos desenvolvidos por Sousa et al. (2013) e Andrade et al. (2016) utilizando mangas ‘Tommy Atkins’, e poucos são os estudos que avaliam a qualidade final de frutos após exposição a vibrações mecânicas. Esses estudos, além de serem importantes para o desenvolvimento de embalagens, são fundamentais para avaliar a eficiência do sistema de transporte utilizado na cadeia produtiva da manga, auxiliando na conservação pós-colheita desses frutos, tendo em vista que, por se tratar de um fruto climatérico, a forma como são transportados podem influenciar na senescência.

4. CAPÍTULO 1

USO DA ESPECTROSCOPIA PARA AVALIAR A MATURAÇÃO DE MANGAS ‘PALMER’

USO DA ESPECTROSCOPIA PARA AVALIAR A MATURAÇÃO DE MANGAS 'PALMER'

Resumo

A maioria dos métodos para avaliação da maturação de frutas é destrutiva, o que limita a aplicabilidade e reflete em prejuízos na produção. Técnicas alternativas podem ser adotadas no campo e na pós-colheita para garantir a qualidade do produto, de forma rápida e precisa. Assim, objetivou-se com os estudos avaliar mangas 'Palmer' em diferentes estádios de maturação: através de espectroscopia portátil, correlacionando o índice DA com parâmetros de qualidade medidos destrutivamente; e utilizando dados de respostas espectrais na região do visível e do infravermelho próximo (VIS-NIR) para desenvolver modelos de predição e classificação para atributos de qualidade das mangas. Os frutos foram avaliados aos 35, 50, 65, 80, 95, 110, 125, 140, 155 e 170 dias após a floração (DAF) e 10 e 20 dias após a colheita (DAC). Na primeira etapa foi determinado o índice de diferença de absorbância (índice DA), a firmeza, os sólidos solúveis totais (SST), a acidez total titulável (ATT), a relação SST/ATT e o índice de amadurecimento. Os resultados foram submetidos à análise de variância, teste de médias e à análise de regressão. Na segunda etapa houve a aquisição dos espectros de reflectância num alcance de 450 - 1800 nm, que após serem submetidos a diferentes pré-tratamentos foram utilizados no desenvolvimento de modelos de regressão, utilizando-se componentes principais (PCR), mínimos quadrados parciais (PLSR) e regressão linear múltipla (MLR), para determinar a firmeza, os SST e a ATT de mangas 'Palmer'. Também foram gerados modelos de classificação através da análise discriminante linear (LDA), quadrática (QDA) e de Mahalanobis (DA-Mahalanobis). O avanço da maturação resultou na diminuição do índice DA das mangas, podendo estimar com precisão razoável, a firmeza ($R^2 = 0,77$), o teor de sólidos solúveis totais ($R^2 = 0,70$), a acidez total titulável ($R^2 = 0,72$), a relação SST/ATT ($R^2 = 0,79$) e o índice de amadurecimento ($R^2 = 0,79$). Avaliando um espectro mais amplo (VIS-NIR), modelos de regressão para determinar os atributos firmeza, SST e ATT foram mais satisfatórios utilizando PLSR, com maior precisão na determinação dos SST das mangas ($R^2 = 0,86$). Os comprimentos de onda mais significativos para a predição da firmeza de mangas 'Palmer' foram 494, 524, 620 e 1579 nm; dos sólidos solúveis totais (SST) foram 524, 566, 613, 710, 890 e 1387 nm; e da acidez titulável foram 511, 528, 626, 681, 727, 756, 870, 1140 e 1385 nm. Por fim, os modelos de classificação discriminaram os estádios de maturação da manga 'Palmer' com acurácia acima de 96%.

Palavras-chave: avaliação não destrutiva, modelos de predição, regressão PLS, DA-meter, índice de amadurecimento.

4.1 Introdução

Sistemas de análise de controle de qualidade não destrutivos, rápidos e econômicos podem melhorar a capacidade das indústrias agroalimentares de gerenciar a qualidade dos produtos (ESCRIBANO et al., 2017) e auxiliar na redução de perdas quantitativas de produção. Como exemplo de aplicação tem-se a espectroscopia portátil com o uso do índice de diferença de absorbância (índice DA), que determina a diferença de absorção de clorofila em dois comprimentos de onda, 670 nm e 720 nm (NOFERINI et al., 2009). A possibilidade de correlacionar esse índice com parâmetros de qualidade, que podem variar quanto a espécie e a variedade, foi estudada para diferentes frutas, como: nectarina (ZIOSI et al., 2008), kiwi (NOFERINI et al., 2009), maçã (COCETTA et al., 2017; PEIFER et al., 2018), pêssego (ANDRADE et al., 2015; SPADONI et al., 2016) e damasco (AMORIELLO et al., 2018).

Técnicas ópticas, como espectroscopia na região do infravermelho próximo (NIR), com comprimentos de onda num amplo alcance, também estão sendo estudadas para avaliar a qualidade de frutas, não destrutivamente, como alternativa aos métodos tradicionalmente utilizados (destrutivos). No entanto, essa técnica só pode ser potencialmente aplicável em combinação com ferramentas quimiométricas (CARAMÊS et al., 2017), como derivadas, regressões e correlações multivariadas.

Correlacionando os atributos de qualidade, com a espectroscopia NIR e a quimiometria, Marques et al. (2016) encontraram resultados satisfatórios para a predição de sólidos solúveis e matéria seca de mangas ‘Tommy Atkins’. Santos Neto et al. (2018) também utilizaram essas técnicas, mas obtiveram modelos diferentes para avaliar o teor de massa seca de mangas ‘Palmer’ durante o armazenamento refrigerado. Logo, os modelos podem divergir entre as variedades e serem mais robustos a depender da variabilidade amostral, da amplitude do espectro utilizado e das diferentes técnicas de tratamentos de dados adotadas.

A aplicação da espectroscopia pode ser útil nas diferentes etapas de produção da manga, como da determinação do estágio de maturação adequado para a colheita e no ciclo de consumo da fruta. Durante o armazenamento, pode auxiliar nas informações sobre a vida útil, e quando no varejo ajudar a selecionar a fruta mais amadurecida para vender (NYASORDZI et al., 2013).

Visando a possibilidade de inclusão de técnicas não destrutivas em avaliações da qualidade na cadeia produtiva da manga produzida no Vale do São Francisco, objetivou-se avaliar mangas ‘Palmer’ em diferentes estágios de maturação utilizando espectroscopia portátil, correlacionando o índice DA com parâmetros de qualidade medidos destrutivamente; e realizar uma análise exploratória das respostas espectrais de mangas ‘Palmer’ para desenvolver modelos

de regressão para atributos de qualidade e modelos de classificação para diferenciar estádios de maturação.

4.2 Material e Métodos

4.2.1 Coleta das amostras

Foram utilizadas mangas cv. ‘Palmer’ colhidas manualmente em pomar comercial da Fazenda Special Fruit Importação e Exportação Ltda., localizada no município de Petrolina–Pernambuco, região de clima do tipo BSwH (semiárido, tipo estepe, muito quente, com estação chuvosa no verão), segundo classificação de Köppen, que fica a 9°18’13,5’’S e 40°40’04,7’’O, com altitude de aproximadamente 380 m. A Fazenda tem 114 hectares plantados com manga ‘Palmer’. O lote em estudo tem 3,47 ha, com espaçamento da cultura de 6 X 4 m e é utilizado o sistema de irrigação de microaspersão, com turno de rega diário e com lâmina ajustada ao longo do ciclo.

Foram selecionadas trinta plantas, distribuídas em cinco fileiras de plantio de um lote do pomar, sendo colhidos 60 frutos por dia de avaliação (dois em cada planta). Foram coletados 720 frutos no total, estando em diferentes fases: 35, 50, 65, 80, 95, 110, 125, 140, 155 e 170 dias após a floração (DAF); e 10 e 20 dias após a colheita (DAC). O ponto de colheita comercial adotado pela Fazenda foi aos 170 DAF.

Os frutos foram selecionados quanto à ausência de injúrias ou doenças e acondicionados em caixas plásticas hortifruti. Depois foram transportados para o Laboratório, onde foram lavados em água corrente, um a um, e imersos em solução de 150 mg de cloro por litro de água por 15 minutos, com posterior enxague para remoção do excesso de cloro e secagem em temperatura ambiente.

Inicialmente os frutos foram avaliados de forma não destrutiva através da caracterização física e em seguida com o uso de espectroradiômetro de reflectância VIS-NIR, e com a utilização de espectrômetro portátil; posteriormente foram realizadas análises de referência destrutivamente, como explicitadas no fluxograma da Figura 1.1.

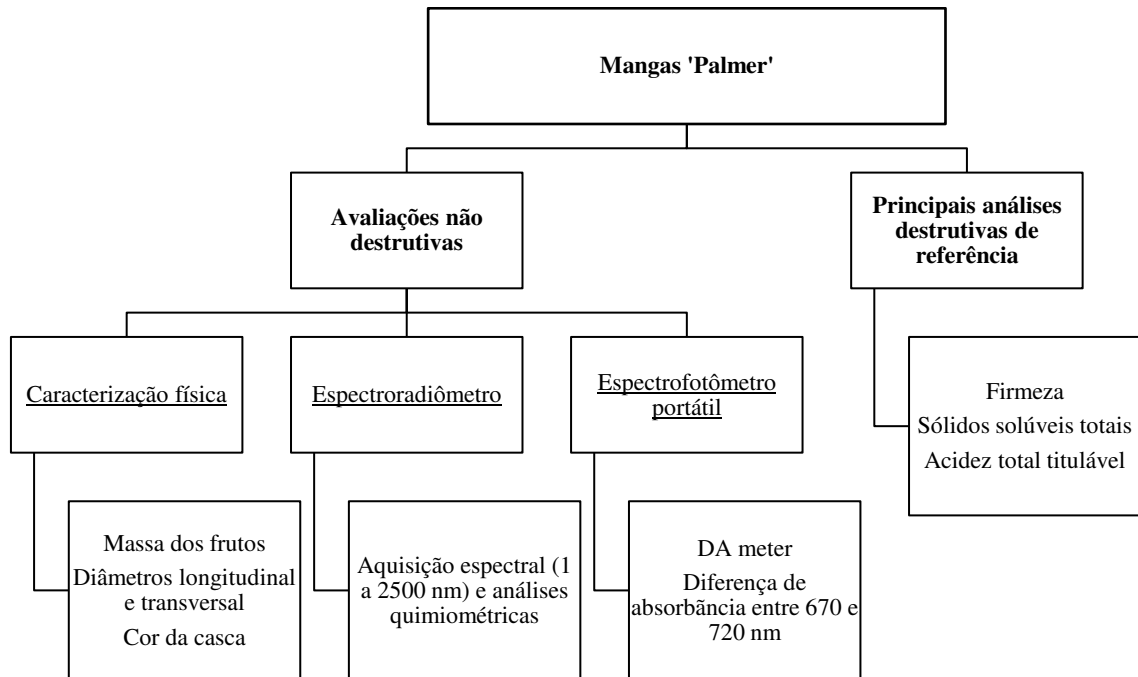


Figura 1.1 - Fluxograma das avaliações para o estudo de maturação de mangas 'Palmer'.

4.2.2 Caracterização física

Massa dos frutos: foi determinada com auxílio de balança semianalítica com precisão de 0,01g.

Diâmetros longitudinal e transversal: determinados com uso de um paquímetro digital e expressos em milímetros (mm).

4.2.3 Experimento 1: Espectroscopia portátil baseada no índice DA para avaliar maturação de mangas 'Palmer'

As mangas 'Palmer' foram avaliados quanto ao índice de Diferença de Absorbância (índice DA), obtido através de espectrofotômetro portátil (DA-meter[®], Turoni, Itália), Figura 1.2, estimado pela diferença entre os valores de absorbância medidos em 670 e 720 nm (ZIOSI et al., 2008), próximos do pico de absorção da clorofila-*a*. Esse índice foi mensurado em ambos os lados de cada fruto.



Figura 1.2 - Espectrofotômetro portátil DA *meter* (Turoni, Itália).

Esse índice foi avaliado em frutos até o momento da colheita (170 DAF) e relacionados com atributos de qualidade das mangas em quatro estádios de maturação, 1 (140 DAF), 2 (170 DAF), 3 (10 DAC) e 4 (20 DAC) (SANTOS et al., 2008), representados na Figura 1.3.

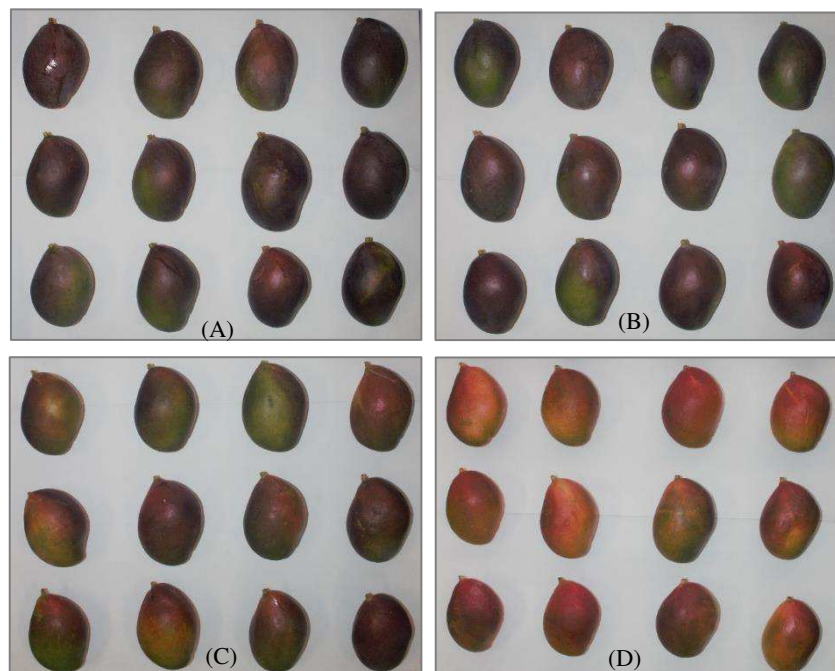


Figura 1.3 – Mangas ‘Palmer’ nos estádios de maturação 1 (A), 2 (B), 3 (C) e 4 (D).

O índice DA dos frutos nos quatro estádios de maturação foi relacionado com a firmeza, os sólidos solúveis totais (SST), a acidez total titulável (ATT) e a relação SST/ATT, determinados em ambos os lados dos frutos, de acordo com as seguintes metodologias:

Firmeza da polpa – foi determinada com o auxílio de um penetrômetro digital modelo PTR 300, com ponteira de 5 mm de diâmetro. Os resultados foram expressos em Newtons (N).

Sólidos solúveis totais (SST) – foram determinados em filtrado da polpa centrifugada, utilizando um refratômetro digital (Hanna – HI 96804), sendo os resultados expressos em °Brix (IAL, 2008).

Acidez total titulável (ATT) – foi determinada titulando-se as amostras com solução de hidróxido de sódio (NaOH 0,1M) e utilizando-se como indicador fenolftaleína a 1% (IAL, 2008). Os resultados foram expressos em percentagem de ácido cítrico.

Relação SST/ATT - foi determinada pelo quociente entre os valores de sólidos solúveis totais e acidez total titulável (SST/ATT).

Também foram determinadas as coordenadas de cor da casca, avaliada utilizando-se um colorímetro digital portátil da marca Konica Minolta DP-400, avaliando-se os seguintes parâmetros: L*, luminosidade; a*, que indica a cromaticidade no eixo da cor verde (-a*) para vermelha (+a*); e b*, que indica a cromaticidade no eixo da cor azul (-b*) para amarela (+b*). E o índice de amadurecimento (IA), que envolve os parâmetros firmeza, ATT e SST, determinado de acordo com a Equação 1.1 (VÉLEZ-RIVERA et al., 2014).

$$IA = \ln[100 \times Firmeza \times (ATT/SST)] \quad (\text{Eq. 1.1})$$

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com sessenta repetições para cada tratamento, representados por quatro estádios de maturação (1; 2; 3 e 4). Para análise dos resultados foi utilizado teste de Tukey a 5% de probabilidade, por meio do programa Assistat versão 7.7 beta (SILVA; AZEVEDO, 2016), além de regressão polinomial para relacionar os índices DA com os demais parâmetros de maturação, utilizando o programa SigmaPlot 10.0.

4.2.4 Experimento 2: Uso de espectroscopia de reflectância VIS-NIR para avaliar atributos de qualidade durante a maturação de mangas ‘Palmer’

Após a colheita das mangas ‘Palmer’ em diferentes estádios de maturação, descrita no item 4.2.1, as etapas posteriores para esse estudo seguiram conforme o fluxograma da Figura 1.4.

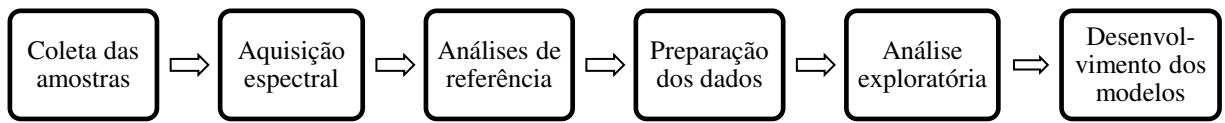


Figura 1.4 - Procedimento metodológico do uso de espectroscopia de reflectância VIS-NIR para avaliar atributos de qualidade durante a maturação de mangas ‘Palmer’.

Aquisição espectral

A aquisição dos espectros de reflectância foi realizada por meio do espectroradiômetro FieldSpec 3 (*Analytical Spectral Devices, Boulder, Colorado, USA*), operando na faixa de 350 nm a 2500 nm, com resolução de 3 a 10 nm, tempo de leitura em 100 ms e acurácia de ± 1 nm. Foi utilizada uma fonte de luz de 70 W de quartzo-tungstênio-halogênio. O sensor de fibra óptica foi posicionado perpendicularmente ao plano de medição, a uma distância de 5,0 cm das mangas, que foram colocadas no centro do referido plano. O sistema de aquisição contava ainda com uma câmara escura com dimensões de 50 x 50 x 100 cm e um computador com o *software* RS³SpectralTM (*Analytical Spectral Devices, Boulder, Colorado, EUA*), conforme Figura 1.5.

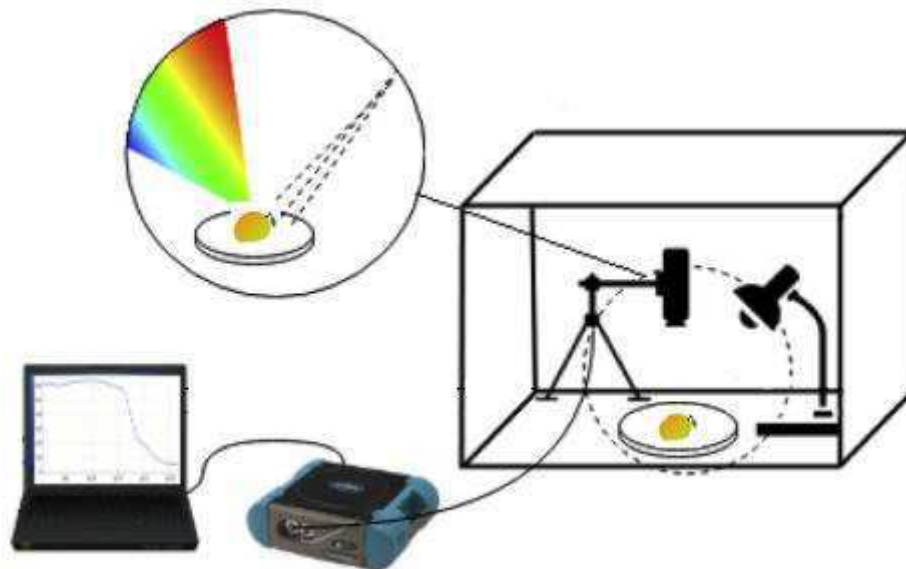


Figura 1.5 - Diagrama do sistema de aquisição de espectros de reflectância.

Fonte: Costa et al. (2019a)

Foi utilizada uma placa de cerâmica branca (Spectralon®, Labsphere Inc., North Sutton, NH, EUA) como referência. Foi obtido um espectro de cada lado da manga, e cada espectro registrado correspondeu a uma média de dez leituras. No total foram 1440 registros espectrais. Todas as medições de reflectância (R) das amostras foram transformadas em valores de absorvância ($\log(1/R)$), utilizando o *software* ViewSpec Pro (Analytic Spectral Devices, Boulder, Colorado, EUA). As bandas compreendidas entre 350 – 449 nm e 1801 – 2500 nm foram removidas pois representavam ruídos aleatórios.

Análises de referência - atributos de qualidade

As análises dos atributos de qualidade foram realizadas após a aquisição dos espectros de reflectância das mangas, determinando-se a firmeza dos frutos, os sólidos solúveis totais (SST) e a acidez total titulável (ATT), conforme metodologias descritas no item 4.2.3.

Preparação dos dados e análises exploratórias

Os dados espectrais foram submetidos a diferentes pré-tratamentos matemáticos, com o intuito de reduzir as variações indesejáveis que não foram removidas durante a aquisição dos dados. Aplicaram-se três técnicas de suavização, separadamente, com diferentes segmentos e derivadas, foram elas: filtro de média móvel; filtro da mediana; e o método Savitzky-Golay (SAVITZKY; GOLAY, 1964). Depois disso, aplicou-se a correção do sinal ortogonal (OSC), a correção de dispersão multiplicativa (MSC) (ISAKSSON; NAES, 1988) e uma transformação de variável normal padrão (SNV) (BARNES; DHANOA; LEISTER, 1989), também de forma separada para cada espectro suavizado com as técnicas supracitadas.

O total de amostras foi subdividido em subconjuntos, utilizando 2/3 para a calibração e 1/3 para predição, segundo recomendação de Ferreira (2015). Posteriormente foram desenvolvidos modelos de regressão matemática. Tanto as análises exploratórias quanto as de desenvolvimento dos modelos foram realizadas utilizando o software Unscrambler X 10.4 (CAMO ASA, Oslo, Noruega).

Desenvolvimento dos modelos de regressão

A partir das amostras espectrais e dos atributos de qualidade foram gerados modelos de regressão utilizando o método dos componentes principais (PCR) e o dos mínimos quadrados

parciais (PLSR). Os dados espectrais, brutos ou pré-tratados, foram utilizados como variáveis independentes e os atributos de qualidade (firmeza, sólidos solúveis totais e acidez total titulável) como variáveis dependentes. Foi aplicada a validação cruzada para as amostras de calibração e o número ideal de fatores foi definido pelo menor valor do erro quadrático médio de validação ($RMSE_{cv}$). O algoritmo empregado para a construção dos modelos foi o NIPALS (GELADI; KOWALSKI, 1986) com 100 iterações. No total foram construídos 1436 modelos de regressão, considerando PCR e PLSR, e os três atributos de qualidade. Os melhores modelos foram selecionados pelos maiores coeficientes de *Pearson* para validação cruzada (R^2_{cv}).

Para obter modelos com um número menor de variáveis de entrada foi aplicada uma seleção e posteriormente o método de regressão linear múltipla (MLR). Foram selecionadas vinte variáveis (comprimentos de onda), com os maiores coeficientes de correlação e carga variável independente. Os valores de absorvância obtidos nos respectivos comprimentos de onda selecionados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste de significância a 5%. Para avaliar a capacidade preditiva dos melhores modelos de regressão desenvolvidos, foi executada a predição a partir do conjunto de dados não utilizado no processo de calibração.

Ao longo dos estudos os desempenhos dos modelos foram avaliados por diferentes parâmetros estatísticos:

- a) Coeficiente de determinação (R^2 *Pearson*)

$$R^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (\hat{y}_j - \bar{\hat{y}})(y_j - \bar{y})^2}{(n-1)\sigma_r\sigma_p} \quad \text{Eq. 1.2}$$

- b) Erro quadrático médio da calibração ($RMSE_{cal}$)

$$RMSE_{cal} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (y_j - \hat{y}_j)^2}{n}} \quad \text{Eq. 1.3}$$

- c) Erro quadrático médio da validação cruzada ($RMSE_{cv}$)

$$RMSE_{cv} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (y_j - \hat{y}_{j*})^2}{n}} \quad \text{Eq. 1.4}$$

d) Erro quadrático médio da predição ($RMSE_{pred}$)

$$RMSE_{pred} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (\hat{y}_j - y_j)^2}{m}} \quad \text{Eq. 1.5}$$

Em que: \hat{y}_j = valor previsto pelo modelo de calibração; \bar{y} = média dos valores de referência; y_j = valor de referência; n = número de amostras nas etapas de calibração ou validação; m = número de amostras previstas; σ_r = desvio padrão dos valores de referência; σ_p = desvio padrão dos valores previstos

Desenvolvimento dos modelos de classificação

Foram construídos modelos discriminantes supervisionados para classificar as mangas em quatro estádios de maturação (1, 2, 3 e 4), os mesmos avaliados conforme o item 4.2.3. O conjunto foi constituído de 240 amostras espectrais das mangas

A matriz de dados foi formada pelas variáveis independente, que correspondem aos valores de absorbância no espectro de 450-1800 nm, e pelas variáveis dependentes, classes de maturação definidas. Os métodos de análise discriminante linear (LDA), quadrática (QDA) e de Mahalanobis (DA-Mahalanobis) foram utilizados para discriminar as diferentes classes. O desempenho dos modelos de classificação supervisionada foi avaliado através dos valores de acurácia, a razão entre o somatório das previsões corretas e o somatório das previsões totais (Equação 1.6).

$$Acurácia = \frac{VP + VN}{VP + FN + FP + VN} \quad \text{(Eq. 1.6)}$$

Em que: VP - verdadeiro positivo; VN - verdadeiro negativo; FP - falso positivo; e FN - falso negativo.

4.3 Resultados e Discussão

4.3.1 Caracterização física

A caracterização inicial dos frutos de manga ‘Palmer’ nas diferentes fases da maturação, quanto à massa e diâmetros longitudinal e transversal, pode ser verificada na Tabela 1.1.

Tabela 1.1 - Massa fresca, diâmetro longitudinal (DL) e diâmetro transversal (DT) de mangas ‘Palmer’ em diferentes fases da maturação.

Fases da maturação	Massa (g)	DL (mm)	DT (mm)
35 DAF	63,09 ± 5,02	74,99 ± 1,81	45,58 ± 1,90
50 DAF	187,28 ± 15,71	109,34 ± 2,31	63,79 ± 2,04
65 DAF	299,53 ± 19,14	130,71 ± 3,41	78,10 ± 3,07
80 DAF	438,43 ± 20,63	140,85 ± 3,70	84,51 ± 1,56
95 DAF	503,41 ± 17,59	147,58 ± 3,46	86,90 ± 1,35
110 DAF	520,20 ± 26,10	145,93 ± 3,24	87,86 ± 1,48
125 DAF	536,57 ± 30,75	147,07 ± 3,69	88,11 ± 1,94
140 DAF	573,75 ± 29,47	148,89 ± 3,02	89,74 ± 1,79
155 DAF	591,56 ± 29,90	148,39 ± 2,83	90,92 ± 1,54
170 DAF	586,66 ± 22,75	147,06 ± 2,83	90,80 ± 1,59
10 DAC	522,48 ± 25,91	145,92 ± 3,57	87,29 ± 1,94
20 DAC	485,04 ± 26,58	144,06 ± 3,01	87,28 ± 2,00

4.3.2 Experimento 1: Espectroscopia portátil baseada no índice DA para avaliar maturação de mangas ‘Palmer’

Avaliando o avanço das fases de maturação até o ponto de colheita adotado pela Fazenda (170 DAF), a variação do índice DA para mangas ‘Palmer’ não foi significativa (Tabela 1.2). O que pode estar relacionado com menores alterações da coloração verde da casca, fator também observado por Costa et al. (2017) em estudos com frutos de mangas ‘Tommy Atkins’, colhidos até 110 DAF.

Tabela 1.2 – Índice de diferença de absorvância (IDA) de mangas ‘Palmer’ em diferentes fases da maturação.

	Fases da maturação (DAF)									
	35	50	65	80	95	110	125	140	155	170
IDA	2,17 a	2,16 a	2,15 a	2,17 a	2,17 a	2,13 a	2,14 a	2,13 a	2,11 a	2,11 a

*Médias com mesma letra não diferenciam entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Embora até a maturidade fisiológica esse índice não tenha sido significativo, o mesmo reduziu quando foram avaliados estádios mais avançados, correspondentes ao amadurecimento das mangas (Tabela 1.3), o que pode ter relação com a perda da coloração verde, resultante da degradação da clorofila, um dos principais processos responsáveis por alterações no pericarpo dos frutos (YANG et al., 2009).

Tabela 1.3 - Valores médios para índice de diferença de absorvância (IDA), componentes de cor da casca, L* - luminosidade, a* - intensidade da cor verde/vermelha e b* - intensidade de amarelo, e firmeza de mangas ‘Palmer’ em diferentes estádios de maturação.

	Estádios	IDA	L* _{casca}	a* _{casca}	b* _{casca}	Firmeza (N)
‘Palmer’	1	2,13 a	33,91 c	+6,58 c	+13,48 c	138,84 a
	2	2,11 a	35,49 bc	+7,48 c	+14,03 c	128,51 b
	3	1,69 b	36,38 b	+11,65 b	+21,03 b	14,21 c
	4	1,09 c	41,05 a	+16,86 a	+27,17 a	6,83 d

*Médias com letras iguais nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

Corroborando com esses resultados, houve o aumento dos valores dos parâmetros *a* e *b* da casca dos frutos (Tabela 1.3), que indicam além da diminuição da cor verde, um aumento da coloração avermelhada e amarelada, evidenciando a síntese de outros compostos como antocianinas e carotenoides. Como também evidenciado por Jha, Kingsly e Chopra (2006), a luminosidade da casca dos frutos de manga aumentou à medida que ocorreu a exposição de tons amarelados, portanto, com valores maiores para frutos no estádio 4 (Tabela 1.3).

A firmeza das mangas decresceu com o avanço da maturação (Tabela 1.3), passando de 138,84 N no estádio 1 para 6,83 N no estádio 4, mudança resultante de atividades enzimáticas que aumentam o metabolismo de carboidratos da parede celular e processos como a quebra de amido (VILAS BOAS et al., 2004; CHITARRA; CHITARRA, 2005), aumentando a flacidez dos frutos, conseqüentemente, deve-se atentar para os cuidados com manuseio, transporte e armazenamento, a fim de aumentar a vida útil dos mesmos.

Infere-se que no estádio 2 os frutos em estudo já haviam atingido a maturidade fisiológica, a partir de onde a firmeza decresce expressivamente (JHA; KINGSLY; CHOPRA,

2006). Santos et al. (2008) estudando a maturação de mangas ‘Tommy Atkins’ também verificaram uma redução da firmeza, com diferença estatística significativa a partir do estágio 2 até o estágio 4.

Os sólidos solúveis totais aumentaram significativamente, variando de 5,99 °Brix no estágio 1 ao valor de 14,99 °Brix no estágio 4 (Tabela 1.4). Esse acréscimo é resultante de processos metabólicos durante a maturação, principalmente a hidrólise de açúcares complexos, o que lhe confere utilização como bom indicador para avaliar a maturidade da manga (SANTOS et al., 2008).

Tabela 1.4 - Valores médios dos sólidos solúveis totais (SST), acidez total titulável (ATT), relação SST/ATT e índice de amadurecimento (IA) de mangas ‘Palmer’ em diferentes estágios de maturação.

Estádios	SST (°Brix)	ATT (% ác. cítrico)	Relação SST/ATT	IA
1	5,99 d	0,65 a	9,21 c	7,29 a
2	6,79 c	0,67 a	10,12 c	7,14 a
3	12,76 b	0,13 b	98,15 b	2,58 b
4	14,99 a	0,09 b	166,56 a	1,38 c

*Médias com letras iguais nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

A acidez total titulável reduziu com o avanço do amadurecimento das mangas ‘Palmer’ diferenciou os estágios 1 e 2 dos estágios 3 e 4 (Tabela 1.4), semelhante ao verificado por Vélez-Rivera et al. (2014) em estudos com mangas ‘Manila’, que ressaltaram que o excesso de degradação ácida é característico do processo de maturação, associado entre outros fatores aos altos níveis de pH na polpa das mangas. Os valores encontrados para o percentual de ácido cítrico estão dentro da faixa verificada por Vasconcelos et al. (2019) para mangas ‘Tommy Atkins’ entre estágios 2 e 4 produzidas na mesma região, que variaram de 0,01 a 1,55%.

Assim como verificado por Costa et al. (2017) em mangas ‘Tommy Atkins’ produzidas na região do Vale do São Francisco, o incremento de sólidos solúveis e a diminuição da acidez com o avanço da maturação, resultaram no acréscimo da relação SST/ATT (Tabela 1.4), o que ratifica que além de estar ligado com a qualidade sensorial, pode ser um bom indicador durante o processo de maturação de frutas (AMORIELLO et al., 2018). Além disso, dentre os parâmetros avaliados, a relação do índice DA com SST/ATT foi a que obteve maior coeficiente de determinação em comparação a variáveis como firmeza, sólidos solúveis e acidez titulável, com $R^2 = 0,79$, aproximadamente (Figura 1.6)

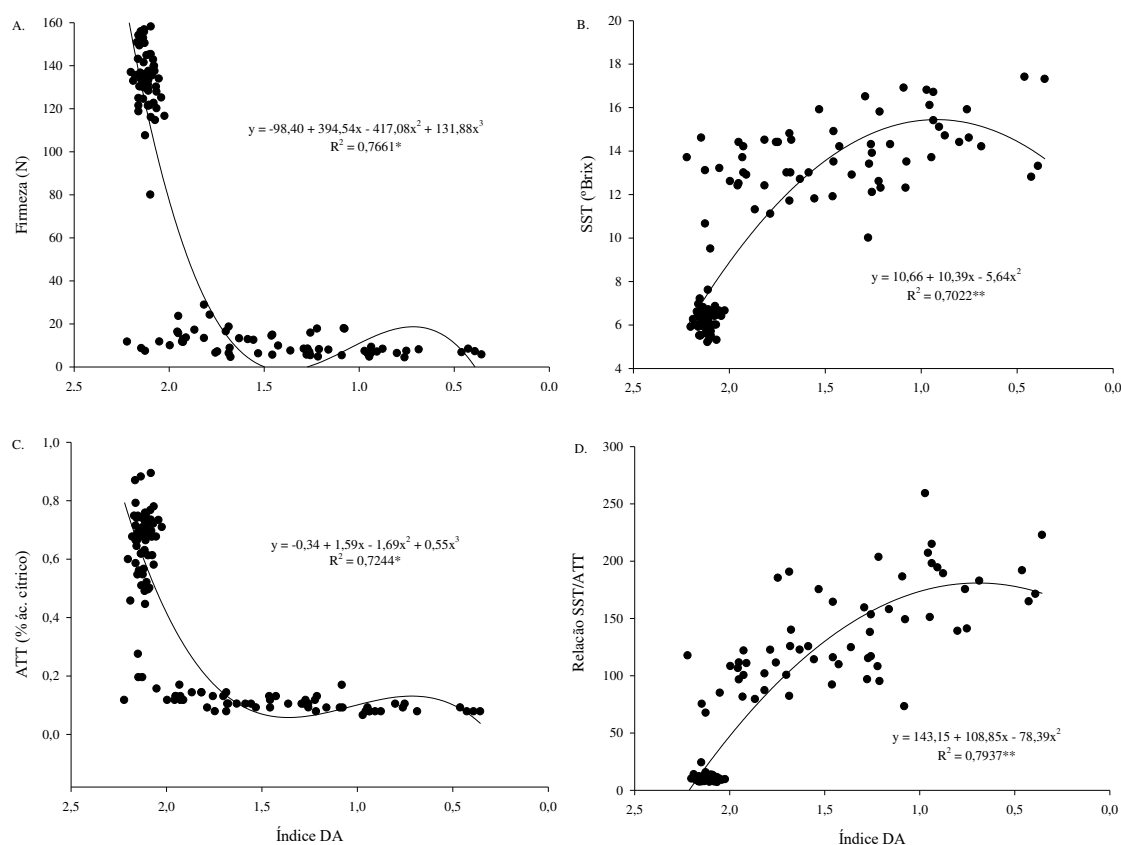


Figura 1.6 - Relação entre índice de diferença de absorvância (Índice DA) e a firmeza (A), sólidos solúveis totais (B), acidez total titulável (C) e a relação SST/ATT (D) de mangas ‘Palmer’ em diferentes estádios de maturação.

As relações do índice DA com os outros atributos avaliados obtiveram R^2 de 0,77, 0,70 e 0,72 para firmeza, sólidos solúveis totais e acidez total titulável, respectivamente, maiores que os encontrados por Betemps et al. (2011) avaliando mangas ‘Tommy Atkins’, com $R^2 = 0,71$ para firmeza, $R^2 = 0,50$ para SST e $R^2 = 0,68$ para ATT.

Observa-se a inversa proporcionalidade entre o índice de diferença de absorvância com o teor de sólidos solúveis totais (Figuras 1.6B) e a relação SST/ATT (Figura 1.6D), como consequência dos diferentes estádios de maturação. Em contrapartida, quando os frutos são menos firmes (Figuras 1.6A) e com menor acidez (Figuras 1.6C), o índice DA também é menor, o que leva a uma relação diretamente proporcional.

Quando considerados firmeza, acidez total titulável e sólidos solúveis totais ao mesmo tempo, através do índice de amadurecimento, houve uma maior diferenciação para mangas a partir do estágio 2 de maturação (Tabela 1.4), com $R^2 = 0,79$, aproximadamente (Figura 1.7). Costa et al. (2019b) observaram uma correlação mais determinante na caracterização de estádios de mangas ‘Tommy Atkins’, com $R^2 = 0,94$ relacionando os índices DA e de amadurecimento.

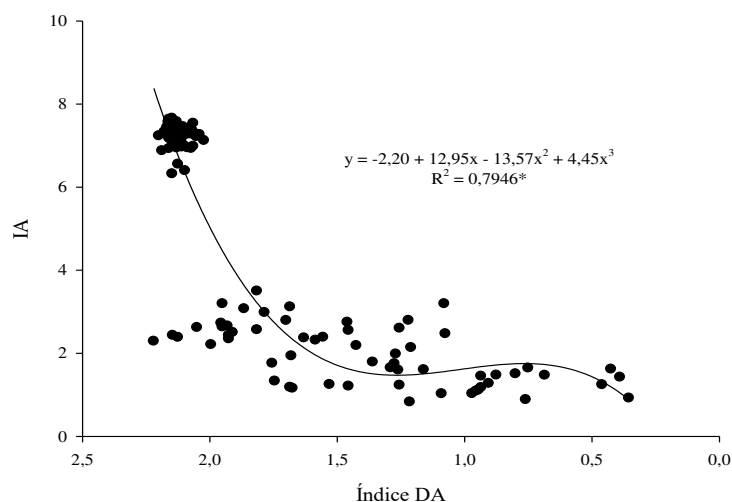


Figura 1.7 - Relação entre o índice de diferença de absorvância (Índice DA) e o índice de amadurecimento (IA) de mangas ‘Palmer’ em diferentes estádios de maturação.

4.3.3 Experimento 2: Uso de espectroscopia de reflectância VIS-NIR para avaliar atributos de qualidade durante a maturação de mangas ‘Palmer’

Desenvolvimento dos modelos de regressão

Os modelos de calibração e predição foram desenvolvidos com base num conjunto de dados com alta variabilidade devido aos diferentes estádios de maturação avaliados, o que pode conferir maior robustez aos modelos. Os descritores estatísticos podem ser verificados da Tabela 1.5.

Tabela 1.5 – Estatística descritiva para as amostras de mangas ‘Palmer’ utilizadas nos modelos de calibração (480 amostras) e de predição (240 amostras).

Calibração					
Atributo	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	Variância
Firmeza (N)	120,30	4,25	181,40	40,72	1658,33
SST (°Brix)	6,44	3,80	17,40	2,48	13,60
ATT (% ác. cítrico)	1,04	0,07	1,97	0,66	0,44
Predição					
Atributo	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	Variância
Firmeza (N)	118,81	4,65	179,65	41,50	1722,23
SST (°Brix)	6,50	4,10	16,90	2,66	7,07
ATT (% ác. cítrico)	1,03	0,08	1,96	0,49	0,24

Alguns espectros de absorção sem pré-tratamentos para mangas ‘Palmer’ podem ser visualizados na Figura 1.8, verificando a semelhança entre eles, mesmo com frutos em diferentes estádios de maturação. A primeira banda diferenciada de absorção foi na região do visível (VIS) entre 500 – 670 nm, que incluem as regiões espectrais verdes (500-565) e vermelhas (625-740 nm) (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016). Concordando com a tendência de alteração da cor da casca de mangas ‘Palmer’ durante a maturação, onde a cor verde vai dando lugar aos pigmentos vermelhos arroxeados. Neste caso, há uma interação de substâncias, como clorofila e antocianinas, encontradas na epiderme dos frutos, com a energia radiante dos diferentes comprimentos de onda (COSTA et al., 2019a).

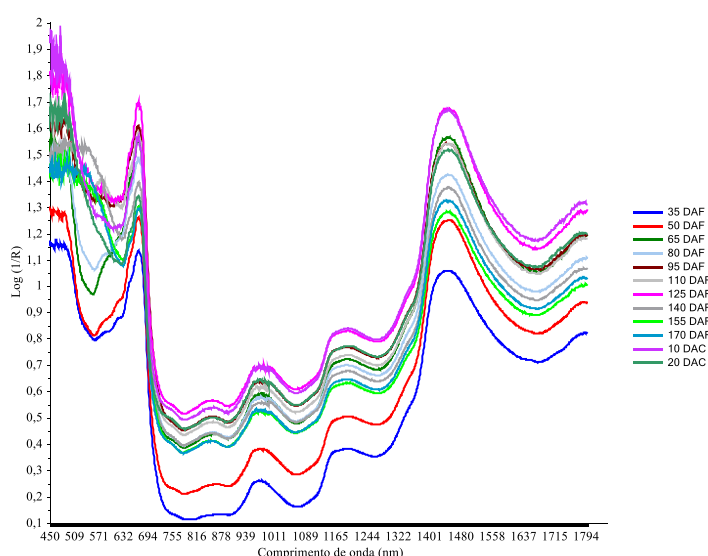


Figura 1.8 – Exemplos de espectros de absorbância sem pré-tratamentos, entre 450 nm e 1800 nm, para amostras de mangas 'Palmer' em diferentes estádios de maturação (35-170 dias após a floração – DAF; 10 e 20 dias após a colheita – DAC), escolhidas aleatoriamente.

Na região do infravermelho próximo (NIR) foram observadas bandas mais intensas próximas a 970, 1070, 1180 e 1440 nm (Figura 1.8), semelhantes aos verificados por Marques et al. (2016) com mangas ‘Tommy Atkins’, numa região espectral entre 950 e 1650 nm, cujos comprimentos de onda expressivos foram em torno de 970, 1070, 1205, 1310 e 1450 nm. Por se tratar de frutas frescas, essas faixas podem estar relacionadas à absorção por açúcares, em torno de 980 nm (COSTA et al., 2019a), e à grande quantidade de água, pois as bandas de absorção entre 1000 e 1400 nm correspondem às vibrações moleculares da água e são referidas como a primeira e a segunda região de sobretensão de água (XIAOBO et al., 2010; SANTOS NETO et al., 2017).

Após aplicação das diferentes técnicas de pré-tratamento, os modelos matemáticos Median Filter, Savitzky – Golay e OSC foram considerados para os melhores resultados dos modelos de regressão utilizando PCR e PLSR (Tabela 1.6). Verificando os parâmetros estatísticos, os modelos utilizando PLSR foram mais satisfatórios do que os PCR, para os atributos de qualidade avaliados nas mangas ‘Palmer’, com maiores valores de R^2 e menores RMSE para a calibração, validação e predição. O que concorda com o que foi ressaltado por Caramês et al. (2017), que entre os distintos métodos de regressão aplicados para a calibração de atributos de qualidade de frutas, os mínimos quadrados parciais são os mais utilizados entre os métodos quimiométricos. Escribano et al. (2017) ainda ressaltaram que a PLSR é um dos métodos mais bem-sucedidos na espectroscopia NIR.

Tabela 1.6 – Dados estatísticos dos modelos de regressão para atributos de qualidade de mangas ‘Palmer’, utilizando o espectro de 450 nm - 1800 nm.

Atributo	Modelos	Fatores	R^2_{cal}	RMSE _{cal}	R^2_{cv}	RMSE _{cv}	R^2_{pred}	RMSE _{pred}
Firmeza (N)	PCR	1	0,78	19,16	0,78	19,24	0,75	20,91
	PLSR	3	0,83	16,81	0,81	17,84	0,78	19,95
SST (°Brix)	PCR	1	0,86	0,92	0,86	0,93	0,82	1,17
	PLSR	3	0,90	0,77	0,89	0,83	0,86	1,04
ATT (% ác. cítrico)	PCR	3	0,69	0,29	0,68	0,29	0,69	0,27
	PLSR	6	0,81	0,22	0,79	0,23	0,81	0,21

R^2_{cal} - coeficiente de determinação da calibração; RMSE_{cal} - erro quadrático médio da calibração; R^2_{cv} - coeficiente de determinação da validação cruzada; RMSE_{cv} - erro quadrático médio da validação cruzada; R^2_{pred} - coeficiente de determinação da predição; RMSE_{pred} - erro quadrático médio da predição.

Ao contrário do que foi verificado na literatura, que a tentativa de correlacionar espectros VIS-NIR com a firmeza de mangas não apresentaram resultados consistentes (SUBEDI; WALSH; OWENS, 2009; SANTOS NETO et al., 2017), para as mangas ‘Palmer’ analisadas, os R^2 da calibração e da validação cruzada utilizando o método PLSR foram de 0,83 e 0,81, respectivamente (Tabela 1.6), o que representa resultados positivos para os estudos com mangas cultivadas na região do Vale do São Francisco.

Para SST, o modelo PLSR teve R^2_{cv} de 0,89 e RMSE_{cv} de 0,83 (Tabela 1.6), utilizando filtro da mediana e OSC como pré-tratamentos. Esses resultados foram mais satisfatórios que os obtidos por Santos Neto et al. (2017) cujo R^2_{cv} foi de 0,87 e o RMSE_{cv} de 1,39, em previsões de SST de mangas ‘Palmer’ cultivadas no estado de São Paulo, utilizando uma faixa espectral NIR menor (699–999 nm), e os pré-tratamentos SNV e a primeira derivada de Savitzky-Golay.

Na calibração para ATT o R^2 do modelo PLSR foi de 0,81 (Tabela 1.6), resultado que corrobora com os estudos com mangas ‘Nam Dokmai’ (KIENZLE et al., 2012; WATANAWAN et al., 2014; RUNGPICHAYAPICHET et al., 2016), cujo coeficiente de determinação na calibração variou entre 0,74-0,85, utilizando espectroscopia NIR. Apesar do modelo ser menos preciso, se comparado com a predição de SST, a regressão por PLS pode ser utilizada para determinação de acidez total titulável de mangas ‘Palmer’.

Os modelos de predição, utilizando todo o espectro analisado (450 - 1800 nm, VIS-NIR) e regressão por PLS, para os atributos firmeza, SST e ATT apresentaram valores de R^2 de 0,78, 0,86 e 0,81, respectivamente (Tabela 1.6), superiores aos determinados por Marques et al. (2016) em estudos com mangas ‘Tommy Atkins’ e espectroscopia NIR (950 - 1650 nm), com R^2 de 0,72 e 0,50, para firmeza e ATT, respectivamente, e próximo ao R^2 para avaliações de SST, com R^2 de 0,88. Logo, o uso de uma faixa espectral mais ampla pode resultar em modelos mais satisfatórios, a depender do atributo de qualidade a ser avaliado.

A fim de avaliar as contribuições dos diferentes comprimentos de onda no desenvolvimento dos melhores modelos PLSR, fez-se a seleção dessas variáveis independentes através de análise gráfica de carregamento, evidenciando uma possível associação entre comprimentos de onda sensíveis e os atributos de qualidade, firmeza, SST e ATT (Figura 1.9). Os vinte comprimentos de onda selecionados nas curvas de carregamento, para serem variáveis de entradas para o modelo MLR foram: 494, 524, 536, 546, 576, 608, 620, 652, 678, 687, 706, 735, 822, 991, 1073, 1149, 1395, 1439, 1458 e 1579 nm para firmeza; 482, 524, 566, 613, 648, 654, 677, 686, 710, 740, 759, 802, 870, 890, 987, 1216, 1387, 1399, 1468 e 1731 nm para SST; e 511, 524, 528, 556, 571, 582, 626, 638, 666, 681, 695, 706, 727, 756, 870, 1000, 1140, 1385, 1408 e 1444 nm para ATT.

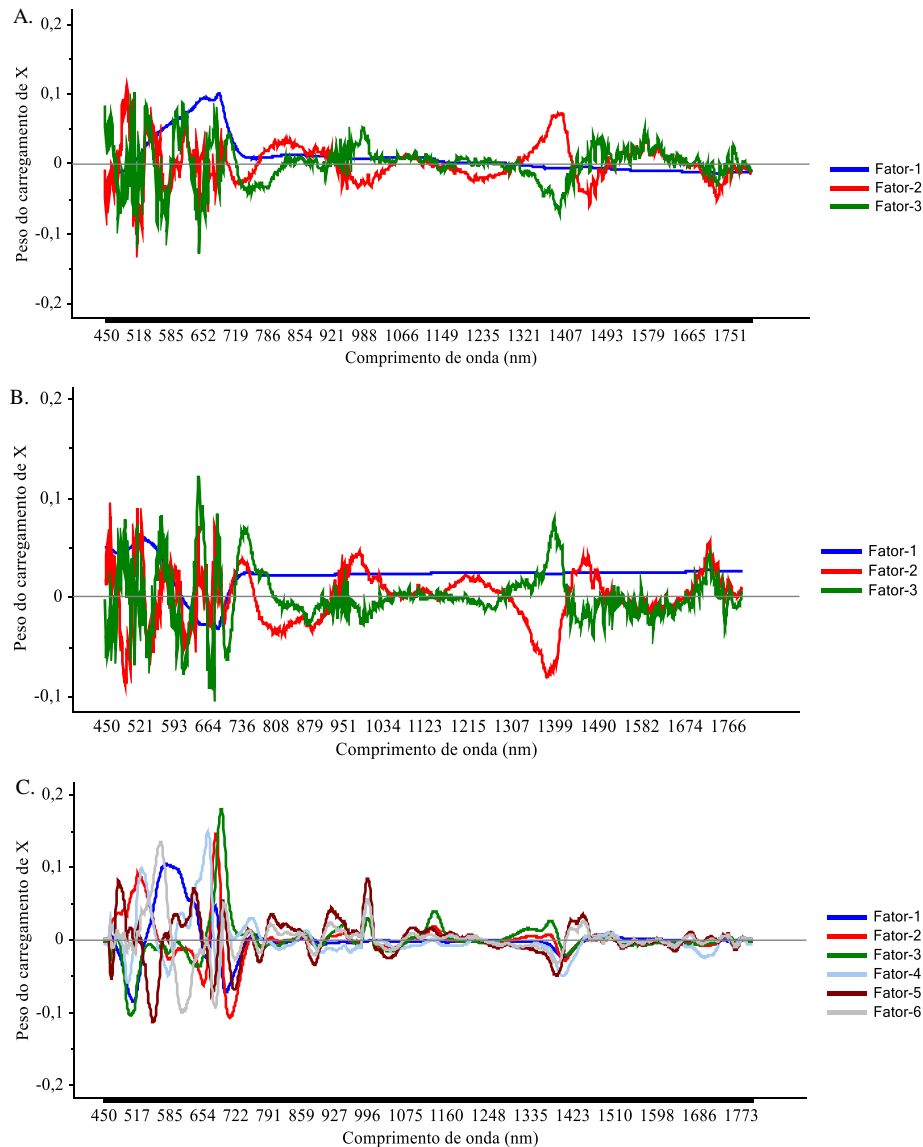


Figura 1.9 - Pesos do carregamento das variáveis independentes dos melhores modelos PLSR, para firmeza (A), sólidos solúveis totais (B) e acidez total titulável (C).

A partir da análise de variância e teste de significância a 5% nos dados dos modelos MLR, os comprimentos de onda significativos para a predição dos atributos foram: 494, 524, 620 e 1579 nm para firmeza; 524, 566, 613, 710, 890 e 1387 nm para SST; e 511, 528, 626, 681, 727, 756, 870, 1140 e 1385 nm para ATT. Informações sobre a calibração e predição dos modelos de MLR construídos com base nesta seleção espectral podem ser verificadas na Figura 1.10.

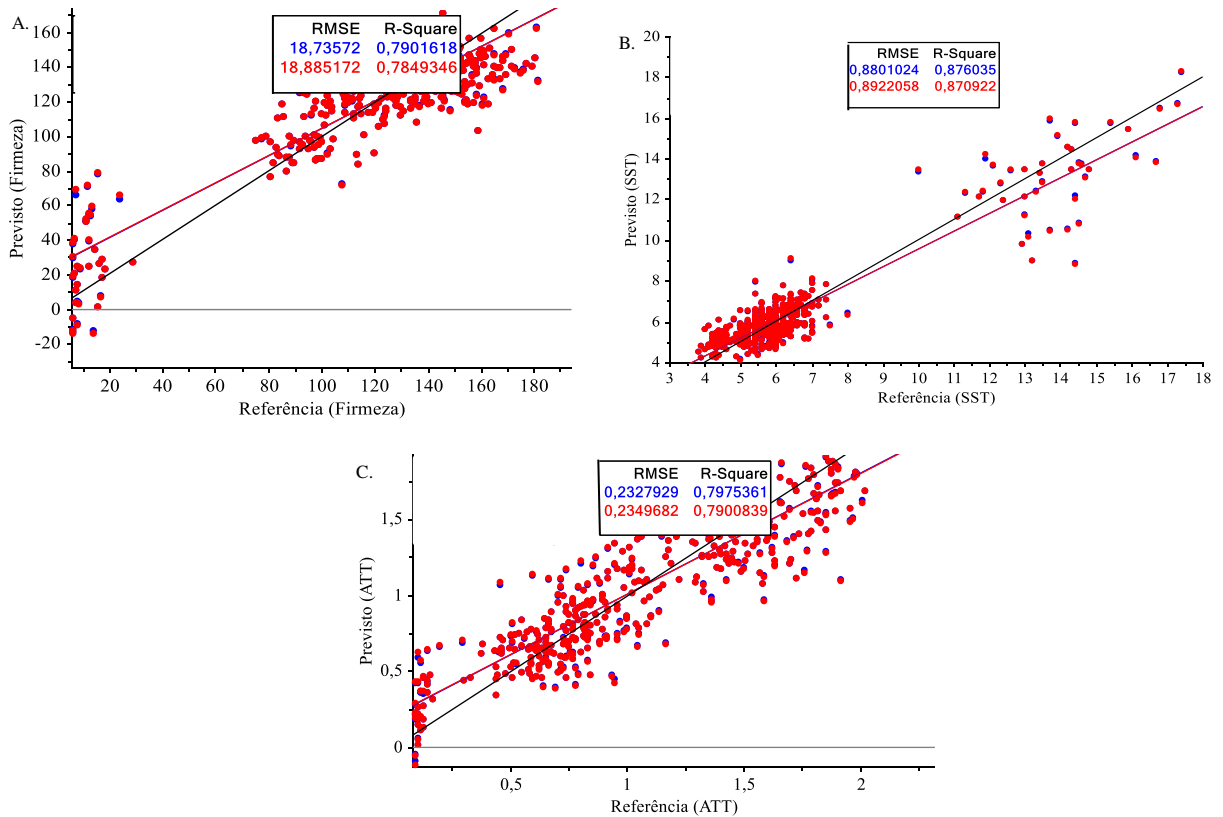


Figura 1.10 – Amostras e dados dos modelos de calibração (azuis) e de predição (vermelhos) para firmeza (A), sólidos solúveis totais (B) e acidez total titulável (C) para mangas ‘Palmer’.

Verificou-se que os modelos com as variáveis independentes selecionadas apresentaram desempenho semelhante aos modelos PLSR utilizando todo o espectro (Tabela 1.6), dada a proximidade dos valores de R^2 para predição nas duas condições. Portanto, infere-se que os comprimentos de onda identificados ao longo dos espectros visível e infravermelho podem ser utilizados para a análise da qualidade de mangas ‘Palmer’, sem comprometer a capacidade de predição dos atributos alvo.

Os coeficientes dos modelos de regressão para a determinação não destrutiva da firmeza, sólidos solúveis totais e acidez total titulável de mangas ‘Palmer’, resguardadas as condições experimentais, podem ser observados na Figura 1.11.

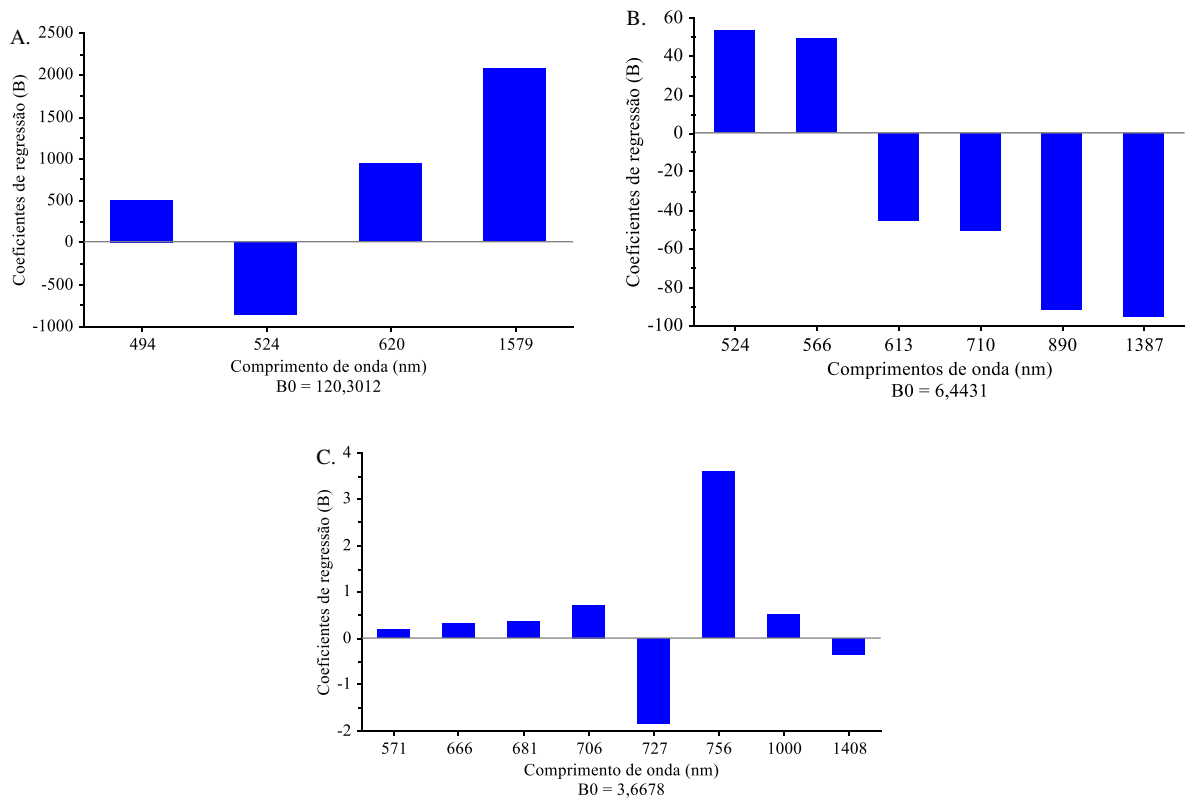


Figura 1.11 – Coeficientes dos modelos de regressão para determinação da firmeza (A), dos sólidos solúveis totais (B) e da acidez total titulável (C) de mangas ‘Palmer’.

Desenvolvimento dos modelos de classificação

Em relação ao desenvolvimento de modelos de classificação, a capacidade para discriminar os quatro estádios de maturação (1, 2, 3 e 4) da manga ‘Palmer’ utilizando métodos de classificação supervisionada foi satisfatória, com taxas de acurácia acima de 96% (Tabela 1.7). Os resultados foram maiores que os encontrados por Costa et al. (2019a) em estudos com uvas ‘Syrah’ e ‘Cabernet Sauvignon’ em três estádios (verde, veraison e maduras) utilizando os mesmos modelos, LDA, QDA e DA-Mahalanobis, cuja acurácia foi de 92,86, 92,26 e 92,26, respectivamente.

Tabela 1.7 - Acurácia de classificação dos estádios de maturação de mangas ‘Palmer’ usando amostras espectrais de 450 a 1800 nm para os modelos.

Pré-tratamento	Modelos	Acurácia (%)
Filtro da mediana_17pts_OSC	LDA	98,41
	QDA	98,41
	DA_Mahalanobis	99,21
Filtro da mediana_21pts_OSC	LDA	96,83
	QDA	100
	DA_Mahalanobis	100
Filtro da mediana_9pts_SNV	LDA	99,21
	QDA	100
	DA_Mahalanobis	100

Através dos modelos QDA e DA-Mahalanobis a precisão chegou a 100%, desempenho que abre possibilidades no estudo e aplicação da espectroscopia VIS-NIR como ferramenta na produção e comercialização de mangas para diferentes mercados e utilidades, que exigem uma seletividade dos estádios de forma não destrutiva.

4.4 Conclusões

O avanço da maturação resultou na diminuição do índice DA de mangas ‘Palmer’. Os parâmetros de maturação avaliados, firmeza, teor de sólidos solúveis, acidez total titulável, relação SST/ATT e o índice de amadurecimento (IA), podem ser estimados a partir da relação com o índice DA, com coeficientes de determinação (R^2) de, 0,77, 0,70, 0,72, 0,79 e 0,79, respectivamente.

A espectroscopia VIS-NIR é uma ferramenta útil para a avaliação não destrutiva de mangas ‘Palmer’. Os modelos de regressão (calibração e predição) dos atributos de qualidade avaliados foram mais satisfatórios utilizando regressão pelos mínimos quadrados parciais (PLSR) do que os construídos por regressão dos componentes principais (PCR). A maior precisão foi na determinação dos SST das mangas ‘Palmer’ ($R^2 = 0,86$).

Os comprimentos de onda nas regiões espectrais do visível (VIS) e do infravermelho próximo (NIR) significativos para a predição da firmeza de mangas ‘Palmer’ foram 494, 524, 620 e 1579 nm; dos sólidos solúveis totais (SST) foram 524, 566, 613, 710, 890 e 1387 nm; e da acidez total titulável foram 511, 528, 626, 681, 727, 756, 870, 1140 e 1385 nm.

Os modelos de classificação discriminaram os estádios de maturação da manga ‘Palmer’ com acurácia acima de 96%.

Referências

- AMORIELLO, T.; CICCORITTI, R.; PALIOTTA, M.; CARBONE, K. Classification and prediction of early-to-late ripening apricot quality using spectroscopic techniques combined with chemometric tools. **Scientia Horticulturae**, v. 240, p. 310–317, 2018.
- ANDRADE, B.; GALARÇA, S. P.; RUBIRA, G. G.; BARBOSA, M. M.; FACHINELLO, J. C. Qualidade de pêssegos das cultivares Chimarrita e Maciel sob armazenamento refrigerado em diferentes estádios de maturação de colheita. **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, v. 16, n. 1 p. 93-100, 2015.
- BARNES, R. J.; DHANOA, M. S.; LEISTER, S. J. Standard normal variate transformation and de-trending of near-infrared diffuse reflectance spectra. **Applied Spectroscopy**, v. 43, p. 772–777, 1989.
- 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**, Volume Especial, p. 306-313, 2011.
- CARAMÊS, E. T. S.; ALAMAR, P. D.; POPPI, R. J.; PALLONE, J. A. L. Quality control of cashew apple and guava nectar by near infrared spectroscopy. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 56, p. 41–46, 2017.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: ESAL-FAEPE, 2005, 785p.
- COCETTA, G.; BEGHI, R.; MIGNANI, I.; SPINARDI, A. Nondestructive Apple Ripening Stage Determination Using the Delta Absorbance Meter at Harvest and after Storage. **HortTechnology**, v. 27, n. 1, p.54–64, 2017.
- COSTA, D. S.; MESA, N. F. O.; FREIRE, M. S.; RAMOS, R. P.; MEDEROS, B. J. T. Development of predictive models for quality and maturation stage attributes of wine grapes using vis-nir reflectance spectroscopy. **Postharvest Biology and Technology**, v. 150, p. 166-178, 2019a.
- COSTA, J. D. S.; FIGUEIREDO NETO, A.; ALMEIDA, F. A. C.; COSTA, M. S.; BORGES, G. S. C.; SOUSA, K. S. M.; QUIRINO, A. K. R. Componentes principais de parâmetros físico-químicos de mangas cv. Tommy Atkins durante a maturação. **Revista Espacios**, v. 38, n. 16, p. 1–11, 2017.
- COSTA, J. D. S.; FIGUEIREDO NETO, A.; COSTA, M. S.; GOMES, J. P.; SILVA, J. C.; SILVA, E. P. Maturação de mangas ‘Palmer’ e ‘Tommy Atkins’ avaliadas por espectroscopia baseada no índice DA. **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, v. 20, n. 1, p. 16–25, 2019b.
- ESCRIBANO, S.; BIASI, W. V.; LERUD, R.; SLAUGHTER, D. C.; MITCHAM, E. J. Non-destructive prediction of soluble solids and dry matter content using NIR spectroscopy and its

relationship with sensory quality in sweet cherries. **Postharvest Biology and Technology**, v. 128, p. 112–120, 2017.

FERREIRA, M. M. C. **Quimiometria** - conceitos, métodos e aplicações. Editora da Unicamp, 2015, 496p.

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

GOULART, C.; LOY, F. S.; GALARÇA, S. P.; GIOVANAZ, M. A.; MALGARIM, M. B.; FACHINELLO, J. C. Evolução do índice da e coloração da epiderme de mangas da cultivar Tommy Atkins. **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, v. 14, n. 1, p. 8-13, 2013.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

IAL. Instituto Adolfo Lutz. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos** /coordenadores Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tiglea - São Paulo, 2008, 1020p.

ISAKSSON, T.; NAES, T. The effect of multiplicative scatter correction (MSC) and linearity improvement in NIR spectroscopy. **Applied Spectroscopy**, v. 42, p. 1273–1284, 1988.

JHA, S. N.; KINGSLEY, A. R. P.; CHOPRA, S. Physical and mechanical properties of mango during growth and storage for determination of maturity. **Journal of Food Engineering**, v. 72, p. 73-76. 2006.

KIENZLE, S.; SRUAMSIRI, P.; CARLE, R.; SIRISAKULWAT, S.; SPREER, W.; NEIDHART, S. Harvest maturity detection for ‘Nam Dokmai 16# mango fruit (*Mangifera indica* L.) in consideration of long supply chains Harvest maturity detection for ‘Nam Dokmai’. **Postharvest Biology and Technology**, v. 72, p. 64–75, 2012.

MARQUES, E. J. N.; FREITAS, S. T.; PIMENTEL, M. F.; PASQUIN, C. Rapid and nondestructive determination of quality parameters in the ‘Tommy Atkins’ mango using a novel handheld near infrared spectrometer. **Food Chemistry**, v. 197, p. 1207- 1214, 2016.

NOFERINI, M.; FIORI, G.; COSTA, G. Un nuovo índice di maturazione per stabilire la raccolta Ed orientare Il consumatore verso la qualità. **Revista Frutticoltura**, p. 30-37, 2009.

NYASORDZI, J.; FRIEDMANA, H.; SCHMILOVITCHB, Z.; IGNAT, T.; WEKSLER, A.; ROT, I.; LURIEA, S. Utilizing the IAD index to determine internal quality attributes of apples at harvest and after storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 77, p. 80-86, 2013.

PEIFER, L.; OTTNAD, S.; KUNZ, A.; DAMEROW, L.; BLANKE, M. Effect of non-chemical crop load regulation on apple fruit quality, assessed by the DA-meter. **Scientia Horticulturae**, v. 233, p. 526–531, 2018.

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

SANTOS NETO, J. P.; ASSIS, M. W. D.; CASAGRANDE, I. P.; CUNHA JÚNIOR, 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- 80, 2017.

SANTOS NETO, J. P.; LEITE, G. W. P.; OLEIVEIRA, 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**, 2018; e13644. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13644>

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

SAVITZKY, A.; GOLAY, M. J. E. Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures. **Analytical Chemistry**, v. 36, n. 8 p. 1627–1639, 1964.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, p. 3733-3740, 2016.

SPADONI, A.; CAMELDI, I.; NOFERINI, M.; BONORA, E.; COSTA, G.; MARI, M. An innovative use of DA-meter for peach fruit postharvest management. **Scientia Horticulturae**, v. 201, p. 140-144, 2016.

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

VASCONCELOS, O. C. M.; DUARTE, D.; SILVA, J. C.; MESA, N. F. O.; MEDEROS, B. J. T.; FREITAS, S. T. Modeling ‘Tommy Atkins’ mango cooling time based on fruit physicochemical quality. **Scientia Horticulturae**, v. 244, p. 413–420, 2019.

VÉLEZ-RIVERA, N. V.; BLASCO, J.; CHANONA-PÉREZ, J.; CALDERÓN-DOMÍNGUEZ, G.; PEREA-FLORES, M. J.; ARZATE-VÁZQUEZ, I.; FARRERA-REBOLLO, R. Computer Vision System Applied to Classification of “Manila” Mangoes During Ripening Process. **Food and Bioprocess Technology**, v. 7, p. 1183–1194, 2014.

VILAS BOAS, B. M.; NUNES, E. E.; FIORINI, F. V. A.; LIMA, L. C. O.; VILAS BOAS, E. V. B.; COELHO, A. H. R. Avaliação da qualidade de mangas ‘Tommy Atkins’ minimamente processadas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, p. 540-543, 2004.

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**, v. 21, n. 3, p. 1109–1114, 2014.

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

YANG, X.; ZHANG, Z.; JOYCE, D.; HUANG, X.; XU, L.; PANG, X. Characterization of chlorophyll degradation in banana and plantain during ripening at high temperature. **Food Chemistry**, v. 114, p. 383-390, 2009.

ZIOSI, V.; NOFERINI, M.; FIORI, G.; TADIELLO, A.; TRAINOTTI, L.; CASADORO, G.; COSTA, G. A new index based on vis spectroscopy to characterize the progression of ripening in peach fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 49, p. 319-329, 2008.

5. CAPÍTULO 2

PREDIÇÃO DE ATRIBUTOS DE QUALIDADE DE MANGAS 'PALMER' ATRAVÉS DO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

PREDIÇÃO DE ATRIBUTOS DE QUALIDADE DE MANGAS ‘PALMER’ ATRAVÉS DO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

Resumo

O monitoramento de atributos de qualidade durante a cadeia produtiva da manga é essencial para a manutenção da qualidade do produto. Objetivou-se com este trabalho estudar uma abordagem não destrutiva para predição de atributos de qualidade de mangas ‘Palmer’ utilizando imagens digitais. O sistema de aquisição das imagens foi constituído por uma câmara fotográfica, uma caixa de interior preto fosco, uma fonte de alimentação ajustável e uma caixa de controle de acendimento de LEDs. Após a obtenção das imagens dos frutos coletados em diferentes estádios de maturação, as mesmas foram processadas para extração de quarenta variáveis. Para construção dos modelos utilizou-se da técnica *Random Forest* como estimador dos atributos de qualidade: massa, firmeza dos frutos, sólidos solúveis totais (SST) e acidez total titulável (ATT). Para validar a abordagem proposta, foi realizado um estudo comparando o desempenho com os modelos encontrados na literatura. O estudo utilizou o coeficiente de correlação (R) para avaliação de desempenho das predições. Os modelos encontrados apresentaram-se mais satisfatórios que os gerados pelos métodos encontrados na literatura, podendo determinar massa, firmeza, SST e ATT de mangas ‘Palmer’ com coeficientes de correlação de 0,992, 0,964, 0,979 e 0,913, respectivamente.

Palavras-chave: métodos não destrutivos, estágio de maturação, RGB, *Random Forest*

5.1 Introdução

A produção de manga é uma atividade de grande expressão no cenário da fruticultura brasileira. A maior área plantada de mangas no Brasil se encontra na região do Vale do São Francisco, e o avanço da produção e exportação resultou na expansão dessa área, passando de 27,17 ha em 2017 para 30,30 ha em 2018 (HFBRASIL, 2018).

Entre as variedades cultivadas no País, o plantio de mangas sem fibra, como ‘Palmer’, ‘Keitt’ e ‘Kent’, destinadas principalmente para o bloco europeu, foi maior em relação à ‘Tommy Atkins (HFBRASIL, 2019), cenário confirmado na região do Vale do São Francisco onde a ‘Palmer’ tem ganhado espaço, em decorrência de novos plantios e, também, da sobre-enxertia em plantios da variedade ‘Tommy Atkins’ (TRINDADE; LIMA; ASSIS, 2015).

Tendo o mercado externo como um dos principais consumidores da manga brasileira e ao mesmo tempo um mercado exigente e competitivo, fazem-se necessários estudos sobre o processo de maturação, a fim de alcançar o nível de qualidade aceitável para o consumidor e uma melhor conservação pós-colheita da manga (COSTA et al., 2017). Os métodos tradicionais e mais utilizados na determinação da maturação e qualidade de frutas baseiam-se em processos destrutivos. Assim, o desenvolvimento e estudo de técnicas alternativas que permitam a determinação de atributos de qualidade, de forma precisa e não invasiva, são de extrema importância (GOULART et al., 2013), tornando a avaliação da qualidade das frutas mais rápida, econômica e consistente (DONIS-GONZÁLEZ et al., 2013).

O potencial de técnicas não destrutivas como ferramentas de avaliação e classificação de frutas vem sendo alvo de diferentes estudos. Modalidades de imagem são investigadas para a avaliação da qualidade, desde imagens do infravermelho próximo (NIR), à imagens multi e hiperespectrais, imagem de reflexão de iluminação estruturada, imagens visíveis à base de luz monocromática ou preto / branco até imagens em cores ou sistema RGB (vermelho, verde e azul) (LI; HUANG; ZHAO, 2015). Com a análise e processamento de imagens digitais é possível avaliar a mudança de coloração dos frutos de forma objetiva, integral e representativa, assim como correlacionar com atributos físico-químicos da polpa (NAGLE et al., 2016).

Estudos com mangas de diferentes cultivares utilizando imagens vêm sendo desenvolvidos, no entanto, diferenças entre elas e também no ambiente de cultivo podem afetar o desempenho e consistência dos índices de maturação, não havendo uma unanimidade ou uniformização quanto às variáveis extraídas e atributos de qualidade estimados.

Yahaya et al. (2015) determinaram os atributos sólidos solúveis totais, acidez titulável e firmeza em mangas ‘Sala’, extraíndo os valores médios no espaço RGB e utilizando como

técnica de inferência a MLR (*Multiple Linear Regression*), obtendo coeficientes de correlação de 0,814, 0,913 e 0,875, respectivamente. Yossy et al. (2017) classificaram mangas da variedade Gincu quanto ao estágio de maturação e tamanho. As imagens foram convertidas do espaço RGB para o HSV, de forma a determinar a cor dominante da manga, e utilizada rede neural com função e ativação do tipo sigmoide e algoritmo *back propagation*. A acurácia obtida foi igual a 94%. Já em estudos com mangas da variedade Carabao, Abarra et al. (2018) determinaram os atributos acidez titulável, açúcares totais, amido total, firmeza, acidez titulável, SST e açúcares redutores, sem o emprego de pré-processamento nas imagens. As variáveis extraídas consistiram nos valores médios das intensidades dos pixels nos espaços RGB, HSV e $L^*a^*b^*$, sendo utilizadas como entrada em modelos de regressão linear para cada atributo de qualidade. Os melhores resultados alcançados foram para acidez titulável e firmeza, ao utilizar apenas o canal L^* , obtendo coeficientes de correlação iguais a 0,977 e 0,968 respectivamente.

Percebe-se que não há consenso sobre a escolha de técnicas de pré-processamento de imagens e atributos empregados, podendo depender da variedade analisada e da natureza do problema. O que reforça que para cada variedade os estudos podem resultar num modelo diferenciado, não sendo encontrado na literatura trabalhos relacionados com a variedade ‘Palmer’ cultivadas na região em questão, que tem lugar de destaque no cenário nacional e internacional.

Esses estudos ainda são incipientes no Brasil, bem como na região do Vale do São Francisco, principal polo de produção de mangas no País, demonstrando serem ferramentas promissoras para avaliar a maturação desses frutos de forma simples, rápida e precisa. Assim, objetivou-se com este trabalho utilizar o processamento de imagens para predição de atributos de qualidade de mangas ‘Palmer’ em diferentes estádios de maturação.

5.2 Material e Métodos

Os procedimentos metodológicos para o estudo de atributos de qualidade durante a maturação de mangas ‘Palmer’ usando imagens podem ser verificados no fluxograma da Figura 2.1.

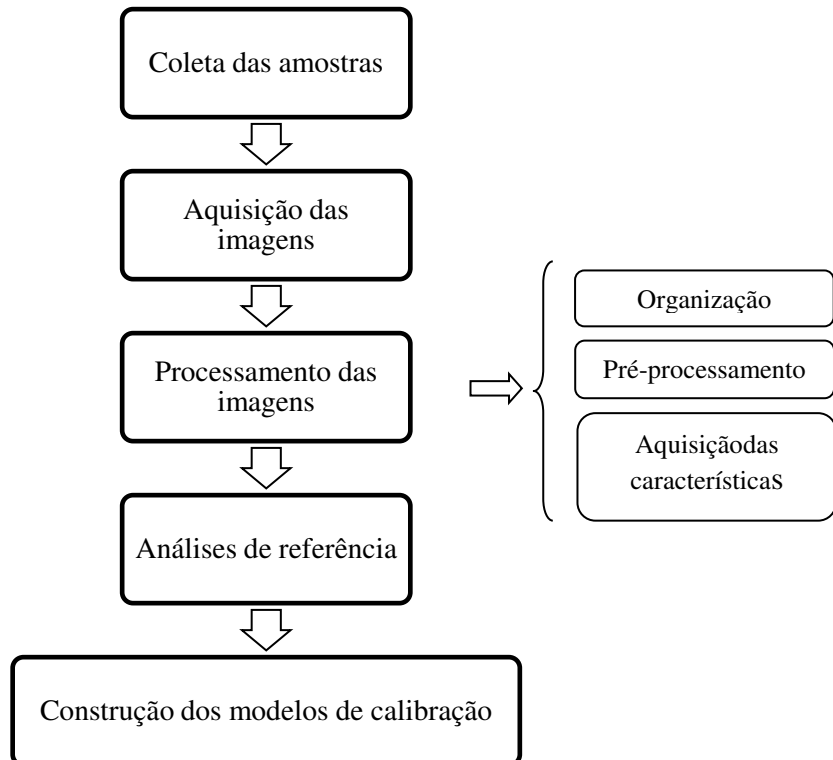


Figura 2.1 - Procedimentos metodológicos para o uso de imagens no estudo da maturação de mangas.

5.2.1 Coleta das amostras

Foram utilizadas mangas ‘Palmer’ colhidas em pomar comercial da Fazenda *Special Fruit* Importação e Exportação Ltda localizada no município de Petrolina–PE. Foram coletados e analisados 750 frutos no total, distribuídas entre as fases 35, 50, 65, 80, 95, 110, 125, 140, 165 e 180 dias após a floração (DAF) e 10 e 20 dias após a colheita (DAC).

5.2.2 Aquisição das imagens

O sistema de aquisição de imagens de reflectância construído no Laboratório de Energia na Agricultura (LENA) foi constituído por uma câmara fotográfica Canon T5i, caixa de interior preto fosco, fonte de alimentação ajustável e uma caixa de controle de acendimento de LEDs (Figura 2.2).

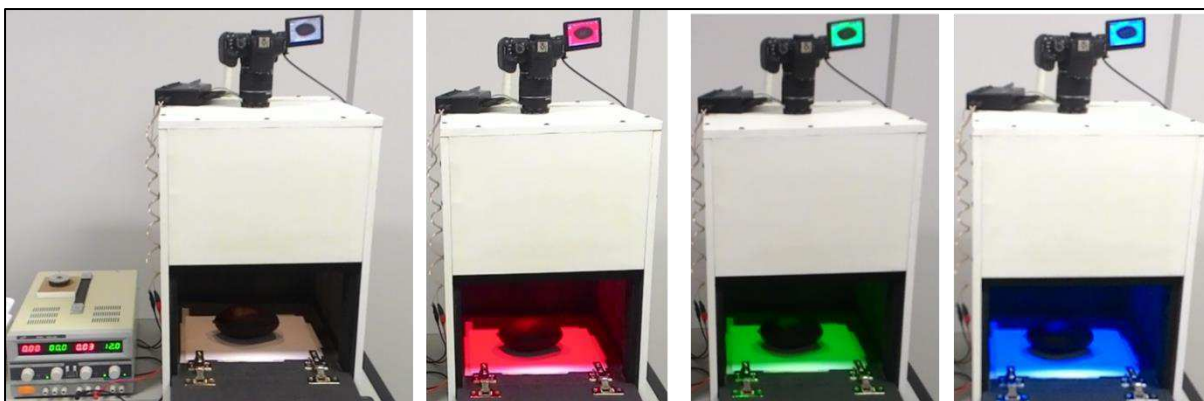


Figura 2.2 - Sistema de aquisição de imagens: fonte, câmera e caixa com demonstrativo de iluminações com LEDs de diferentes cores.

O sistema de iluminação foi constituído por 12 LEDs Solderless XPE2 de 3W da CREE, sendo 3 vermelhos com espectro entre 620 a 630 nm, 3 verdes com espectro 525 nm, 3 azuis com espectro entre 460 a 465 nm e 3 branco frio 5000K a 8300K, dispostos a uma distância angular de 120° entre os LEDs de cada cor.

Para o processo de aquisição das imagens foram obtidas cinco fotos para cada lado de cada fruto (considerando a posição de repouso), cada foto com iluminação de LED diferente, seguindo a ordem: vermelho, verde, azul e branco frio. A câmera foi ajustada com foco manual: ISO-100; tempo de exposição 1/2s; F/5.6; distância focal de 48mm.

5.2.3 Processamento das imagens

Compreendeu desde a organização do banco de imagens até a extração das variáveis das imagens. A base de dados foi constituída de 6000 imagens, correspondentes aos dois lados de todas as mangas analisadas, a partir da utilização dos quatro LEDs. Como as imagens obtidas possuíam ruído e informações irrelevantes, foi necessário realizar o pré-processamento, testando diferentes configurações de algoritmos, sem perder informações relevantes das imagens (Figura 2.3).

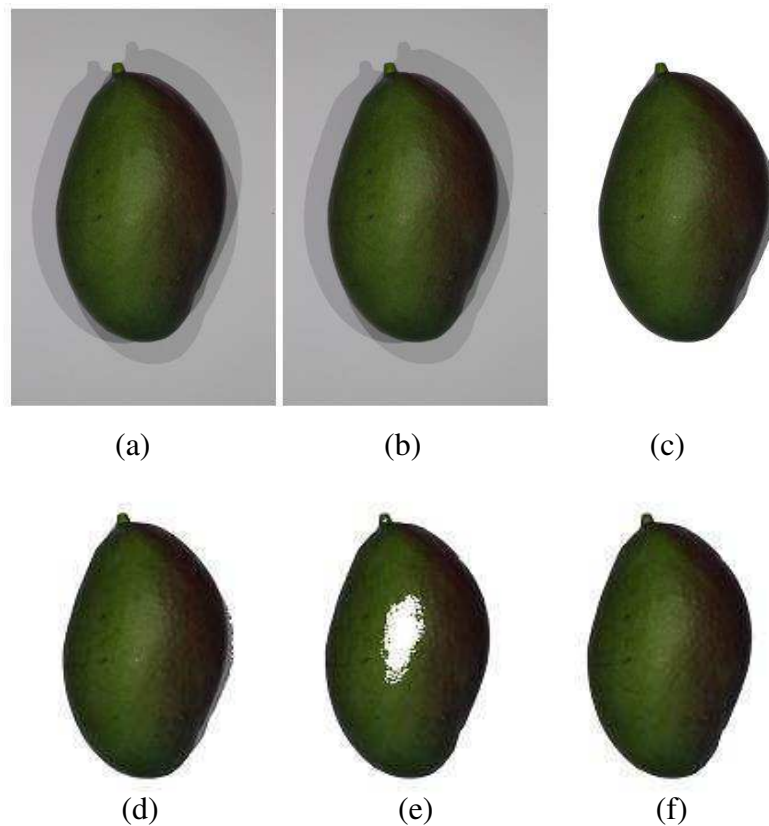


Figura 2.3 – Etapas do pré-processamento das imagens: Imagem original (a); com aplicação do filtro da mediana (b); segmentada (c); tratada pela operação de abertura (d); após limiarização simples (e); imagem final (f), após a operação de fechamento.

A fim de remover manchas contidas nas imagens, a primeira técnica aplicada foi o filtro da mediana. Em seguida, as imagens foram segmentadas através do algoritmo de Otsu, de forma que as mangas fossem isoladas do fundo. Empregou-se a operação de abertura, operação morfológica para remover pequenos pontos da imagem que não foram removidos pelo filtro da mediana. Como o uso dessas técnicas não garantiu remoção completa das sombras, utilizou-se a limiarização simples. No entanto, esta técnica resultou na remoção de partes da manga, sendo necessário empregar a operação morfológica de fechamento para o devido preenchimento das imagens (Figura 2.3).

Antes do treinamento dos modelos de predição, as imagens pré-processadas foram representadas de forma unidimensional através de um conjunto de variáveis extraídas delas. Os pixels foram convertidos em diferentes espaços de cor:

- **Espaço de cor RGB**

R, G e B (Vermelho, verde e azul) correspondem aos valores de intensidade médios de cada imagem definidos pelas Equações 2.1, 2.2 e 2.3.

$$R = \frac{\sum_{j=0}^m \sum_{i=0}^n r_{i,j}}{\sum_{j=0}^m \sum_{i=0}^n a_{i,j}} \quad (\text{Eq. 2.1}) \quad G = \frac{\sum_{j=0}^m \sum_{i=0}^n g_{i,j}}{\sum_{j=0}^m \sum_{i=0}^n a_{i,j}} \quad (\text{Eq. 2.2}) \quad B = \frac{\sum_{j=0}^m \sum_{i=0}^n b_{i,j}}{\sum_{j=0}^m \sum_{i=0}^n a_{i,j}} \quad (\text{Eq. 2.3})$$

$$\text{Onde, } a_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{se } r_{i,j} \neq 0 \text{ ou } g_{i,j} \neq 0 \text{ ou } b_{i,j} \neq 0 \\ 0, & \text{se } r_{i,j} = 0 \text{ e } g_{i,j} = 0 \text{ e } b_{i,j} = 0 \end{cases}$$

- **Espaço de cor Lab**

Após a obtenção dos atributos correspondentes a imagem RGB, a imagem foi convertida para o espaço de cor Lab (Luminosidade, coordenada vermelho/verde e coordenada amarelo/azul) e as variáveis determinadas conforme as Equações 2.4, 2.5 e 2.6.

$$L = \frac{\sum_{j=0}^m \sum_{i=0}^n l_{i,j}}{\sum_{j=0}^m \sum_{i=0}^n a_{i,j}} \quad (\text{Eq. 2.4}) \quad a = \frac{\sum_{j=0}^m \sum_{i=0}^n a_{i,j}}{\sum_{j=0}^m \sum_{i=0}^n a_{i,j}} \quad (\text{Eq. 2.5}) \quad b = \frac{\sum_{j=0}^m \sum_{i=0}^n b_{i,j}}{\sum_{j=0}^m \sum_{i=0}^n a_{i,j}} \quad (\text{Eq. 2.6})$$

- **Espaço de cor HSV**

Como no processo anterior, cada imagem RGB foi convertida para o espaço de cor HSV (Matiz, Saturação e Valor), com as variáveis obtidas de acordo com as Equações 2.7, 2.8 e 2.9.

$$H = \frac{\sum_{j=0}^m \sum_{i=0}^n h_{i,j}}{\sum_{j=0}^m \sum_{i=0}^n a_{i,j}} \quad (\text{Eq. 2.7}) \quad S = \frac{\sum_{j=0}^m \sum_{i=0}^n s_{i,j}}{\sum_{j=0}^m \sum_{i=0}^n a_{i,j}} \quad (\text{Eq. 2.8}) \quad V = \frac{\sum_{j=0}^m \sum_{i=0}^n v_{i,j}}{\sum_{j=0}^m \sum_{i=0}^n a_{i,j}} \quad (\text{Eq. 2.9})$$

Como não foram encontrados trabalhos com mangas 'Palmer', foram utilizadas as variáveis empregadas pelos autores listados na seção de Revisão de literatura (Item 3.3.2, Tabela 3), totalizando quarenta variáveis, foram elas: valor médio RGB, diferença das médias RGB para a manga inteira; diferença das médias RGB nas três regiões da manga, equatorial, cume e haste da manga (Figura 2.4); média RGB, HSV e Lab nas três regiões; área e diâmetro; variáveis fractais; taxas R/G, R/B e S/H; canal HSV dominante; e gradiente RGB. Foi utilizado o Índice de Gini (BREIMAN et al., 1984) para avaliar a importância das variáveis de imagens.

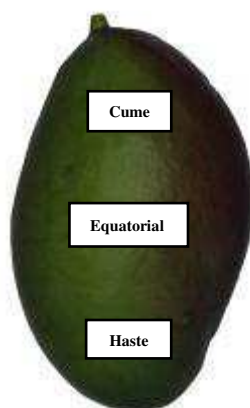


Figura 2.4 – Representação das regiões consideradas nas mangas para extração das variáveis de imagem.

Assim, os descritores de cada manga foram associados aos respectivos atributos de qualidade, para serem utilizados como entrada em um algoritmo de predição. Todas as etapas de manipulação de imagens, que incluem o pré-processamento e extração de variáveis, foram realizados através da linguagem de programação *Python* (versão 3.6.7), com o auxílio da biblioteca *OpenCV* (versão 3.4.4).

5.2.4 Análises de referência

As análises de referência utilizadas para a construção dos modelos de predição foram: massa, firmeza dos frutos, sólidos solúveis totais (SST) e acidez total titulável (ATT). Com exceção da massa, as demais análises foram realizadas nos dois lados da manga, considerando posição de repouso.

A massa dos frutos foi determinada com auxílio de balança semi-analítica com precisão de 0,01 g. A firmeza do fruto foi determinada com o auxílio de um penetrômetro digital modelo PTR 300, com ponteira de 6 mm de diâmetro e o resultado expresso em Newtons (N).

Os sólidos solúveis totais (SST) foram determinados de forma destrutiva em filtrado da polpa centrifugada, utilizando um refratômetro digital (Hanna – HI 96804), sendo os resultados expressos em °Brix. A acidez total titulável foi determinada através de titulação com solução de hidróxido de sódio (0,1 M NaOH), com fenolftaleína 1% como indicador (IAL, 2008). Os resultados foram expressos em percentagem de ácido cítrico.

5.2.5 Construção dos modelos de calibração

Para construção dos modelos foram utilizadas as imagens obtidas com a cor do LED que resultou, por meio de testes preliminares, em maiores coeficientes de correlação (R), Equação 2.10, e considerando o erro quadrático médio (RMSE), Equação 2.11.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (\text{Eq. 2.10})$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (\text{Eq. 2.11})$$

Em que: x_i é o valor da variável de entrada, \bar{x} é a média dos valores de x , y_i é o valor real da variável de saída, \bar{y} é a média dos valores de y , n é o número de amostras e \hat{y}_i é o valor previsto para a variável de saída.

Para determinar o subconjunto ideal de variáveis das imagens para predição dos atributos de qualidade dos frutos, foi utilizada a *Random Forest*, técnica *ensemble* que combina árvores de decisão para obtenção da variável de saída, o que a torna robusta quanto à presença de ruído nos dados e menos suscetível ao *overfitting* (CHAGAS et al., 2016), além de fornecer a importância de cada variável de entrada no modelo construído.

Para a avaliação da capacidade preditiva do modelo, foi utilizada a validação cruzada *k-fold* (SILVA; PERES; BOSCAROLI, 2017), para assegurar que não há um sobreajuste no modelo. através da divisão do conjunto de dados em 5 subconjuntos disjuntos (*5-fold cross validation*), com uma alocação das amostras para o conjunto de treinamento ou teste (ZHANG; YANG, 2015). Assim, um dos subconjuntos foi utilizado como teste e os 4 demais para o treinamento, de forma que o modelo realizasse a predição para dados desconhecidos. Este procedimento foi repetido 5 vezes, alterando os subconjuntos a cada vez. As predições resultantes foram avaliadas através do coeficiente de correlação (R).

5.3 Resultados e Discussão

Através da estatística descritiva (Tabela 2.1) verificou-se uma grande variabilidade nos valores de massa, firmeza, sólidos solúveis totais (SST) e acidez total titulável (ATT),

assegurando uma robustez nos modelos de predições para os atributos de qualidade das mangas ‘Palmer’ em diferentes estádios de maturação.

Tabela 2.1 – Estatística descritiva para os valores de massa, firmeza, sólidos solúveis totais (SST) e acidez total titulável (ATT) de mangas ‘Palmer’ em diferentes estádios de maturação.

Atributos	Média	Mín	Máx	Amp	Desvpad	Var
Massa	436,51	26,70	757,35	730,65	136,22	18557,30
Firmeza	9,83	3,80	19,70	15,90	4,49	20,24
SST	74,05	2,95	181,40	178,45	60,80	3697,50
ATT	0,69	0,03	9,97	9,93	0,64	0,42

Avaliando-se os coeficientes de correlação (R) e os erros quadráticos médios (RMSE) nos testes iniciais para predição dos atributos de qualidade verificou-se que modelos seriam mais satisfatórios com a utilização das imagens iluminadas pelos LEDs de cor branco frio, com R de 0,986, 0,749, 0,834 e 0,621 para massa, firmeza, SST e ATT, respectivamente (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 – Coeficientes de correlação (R) e erro quadrático médio (RMSE) para testes de predição dos atributos massa, firmeza, sólidos solúveis totais (SST) e acidez total titulável (ATT) de mangas ‘Palmer’, utilizando LEDs vermelho, verde, azul e branco frio.

Cor do LED	Massa		Firmeza		SST		ATT	
	R	RMSE	R	RMSE	R	RMSE	R	RMSE
Vermelho	0,984	21,304	0,555	26,976	0,656	1,444	0,547	0,402
Verde	0,985	20,406	0,551	27,181	0,619	1,531	0,605	0,381
Azul	0,984	21,349	0,658	23,558	0,699	1,349	0,513	0,411
Branco frio	0,986	19,998	0,749	20,070	0,834	0,974	0,621	0,366

A partir dos testes prévios, os estudos para construção dos modelos de predição se deram com as imagens obtidas com a iluminação branca (LEDs branco frio). As variáveis de imagens mais significativas estão apresentadas na Figura 2.5.

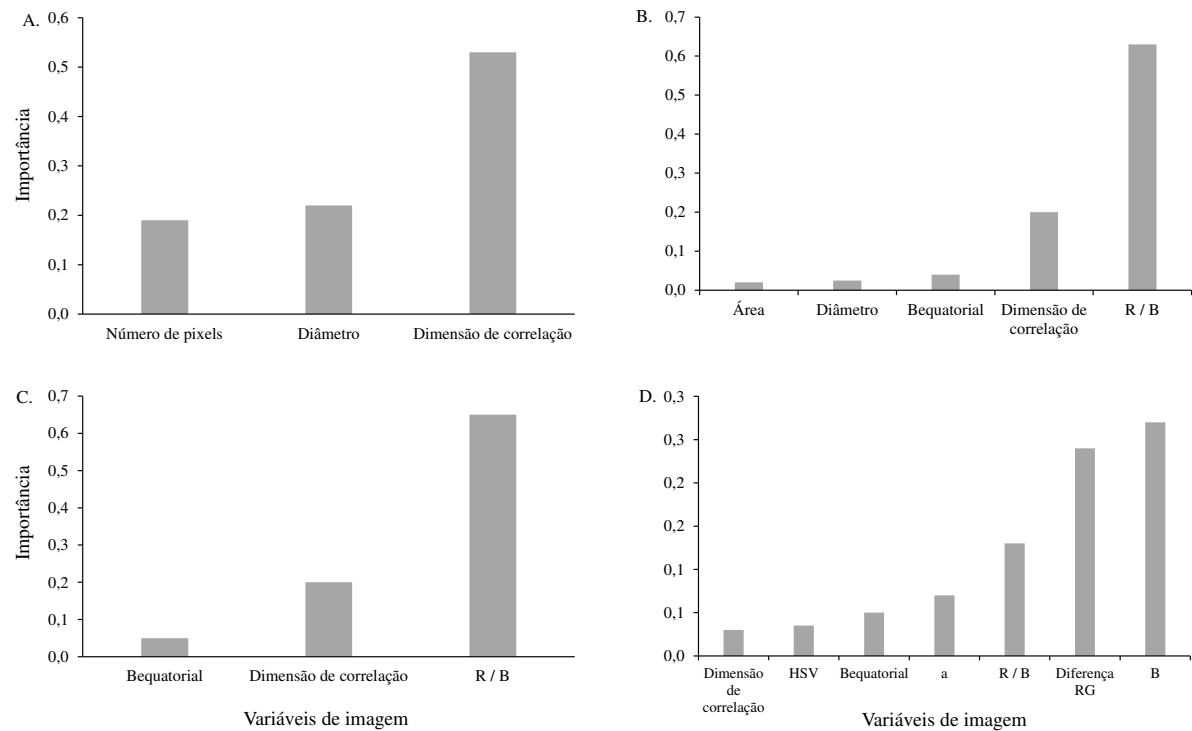


Figura 2.5 – Variáveis de imagens mais significativas para determinação da massa (A), firmeza (B), sólidos solúveis totais (C) e acidez total titulável (D) de mangas ‘Palmer’.

Considerando que quanto mais próximo de 1 for o valor, mais importante é a variável para a construção das regras de decisão, notou-se que a variável fractal dimensão de correlação, seguida do diâmetro e número de pixels possuíram maior relação com a massa dos frutos. Já para a firmeza, SST e ATT o espaço de cores RGB foi mais importante sendo as variáveis R e B mais expressivas.

Logo, além do modelo *Random Forest* utilizando todas as variáveis de imagem, foram construídos novos modelos a partir das mais importantes para cada atributo de qualidade, cujos coeficientes de correlação podem ser verificados na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Coeficientes de correlação (R) e erro quadrático médio (RMSE) obtidos pela *Random Forest*, com as melhores variáveis e com todas as variáveis de entrada, para predição dos atributos massa, firmeza, sólidos solúveis totais (SST) e acidez total titulável (ATT) de mangas ‘Palmer’.

Atributos	Variáveis importantes		Todas variáveis	
	R	RMSE	R	RMSE
Massa	0,984	16,996	0,992	16,483
Firmeza	0,936	15,289	0,964	16,066
SST	0,959	0,899	0,979	0,907
ATT	0,824	0,262	0,913	0,256

Para todos os atributos os coeficientes de correlação foram maiores quando utilizadas todas as variáveis (Tabela 2.3). Assim, a fim de obter modelos mais precisos as predições foram estudadas considerando as quarenta variáveis de imagem, comparando com modelos propostos na literatura.

Na aplicação dos modelos adotados como referência assume-se que existe relacionamento linear entre as variáveis de entrada e o atributo de qualidade. No entanto, os relacionamentos entre essas variáveis podem não ser lineares, e o *Random Forest* pode capturar esse tipo de relacionamento com um grande número de variáveis de entrada.

Através da Figura 2.6 nota-se que a abordagem proposta utilizando *Random Forest* foi capaz de prever massa de mangas ‘Palmer’ de forma mais precisa que metodologia adotada por Teoh e Syaifudin (2007). O coeficiente de correlação médio para a técnica *ensemble* foi em torno de 0,99, enquanto que através da metodologia da literatura, o valor médio de R foi abaixo de 0,96. Houve desta forma um melhor ajuste dos dados à reta para a técnica *ensemble*, utilizada no modelo proposto (Figuras 2.6B e 2.6C).

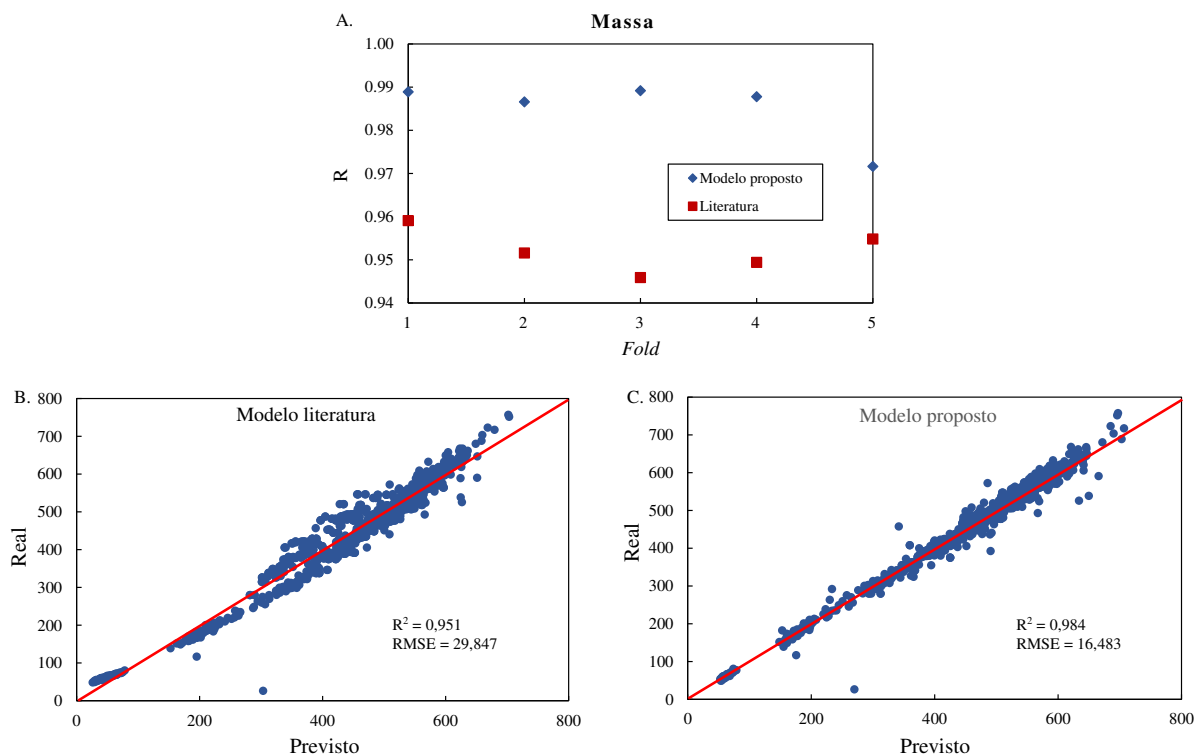


Figura 2.6 – Coeficientes de determinação (A) e gráficos de dispersão para predição da massa de mangas ‘Palmer’ a partir de modelo da literatura (B) e abordagem proposta (C).

Avaliando os modelos para predição da firmeza das mangas, ao empregar o valor médio dos pixels no canal L como entrada na regressão, foi obtido um valor médio de R igual a 0,045,

consideravelmente abaixo do obtido por Abarra et al. (2018), que verificaram um coeficiente igual a 0,9680 para a variedade ‘Carabao’. Confirmando que essa variável da imagem não varia linearmente para mangas ‘Palmer’. Por outro lado, através do modelo *Random Forest*, foi alcançado um coeficiente de correlação médio (R) igual a 0,964 (Figura 2.7A). Nota-se um ajuste muito pobre para o modelo linear, enquanto que no modelo não linear os dados concentram-se mais ao redor da reta (Figuras 2.7B e 2.C).

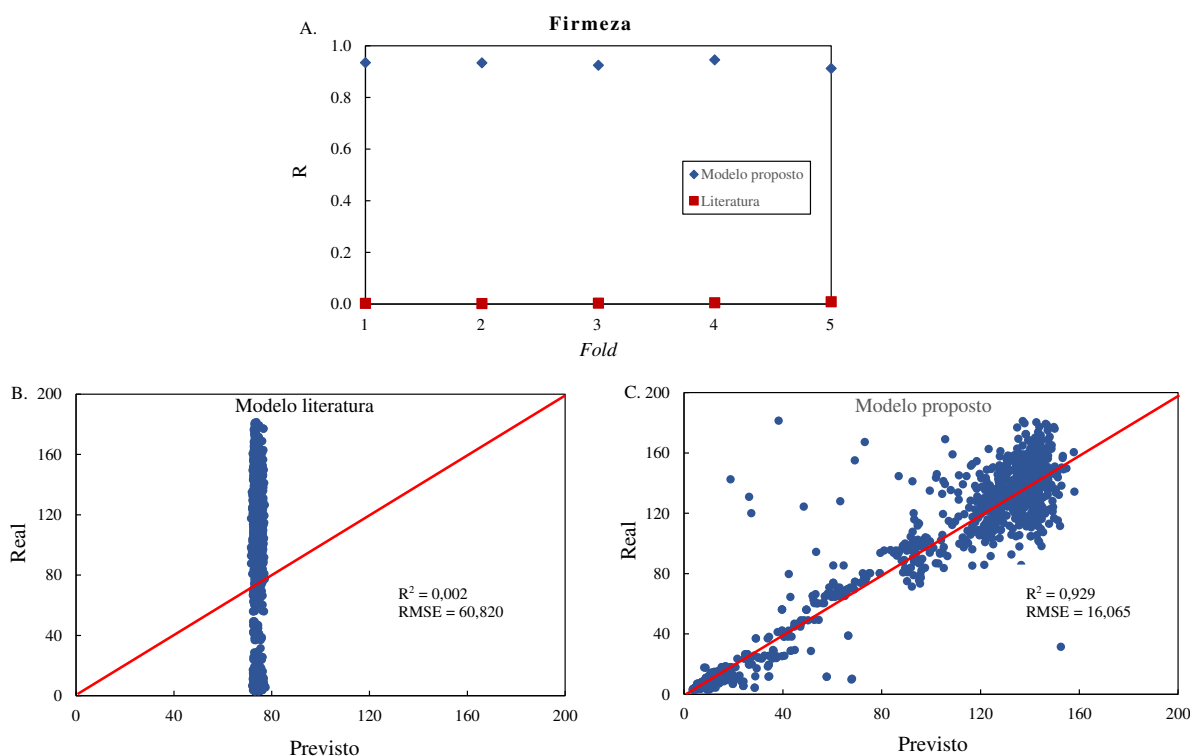


Figura 2.7 – Coeficientes de determinação (A) e gráficos de dispersão para predição da firmeza de mangas ‘Palmer’ a partir de modelo da literatura (B) e abordagem proposta (C).

Para o teor de sólidos solúveis, o valor do coeficiente de correlação médio obtido no modelo proposto, $R = 0,979$ (Figura 2.8A) foi maior que os determinados por Khairunniza-Bejo e Kamarudin (2011) e Yahaya et al. (2015), 0,920 e 0,814, para mangas ‘Chokanan’ e ‘Sala’ respectivamente. Para a variedade ‘Palmer’, um modelo linear que emprega apenas uma variável, a matiz, é insuficiente para a determinação precisa de SST (Figura 2.8B). Por outro lado, ao empregar a abordagem proposta, foram obtidos valores médios do coeficiente de determinação e de RMSE iguais a 0,958 e 0,907, respectivamente (Figura 2.8C).

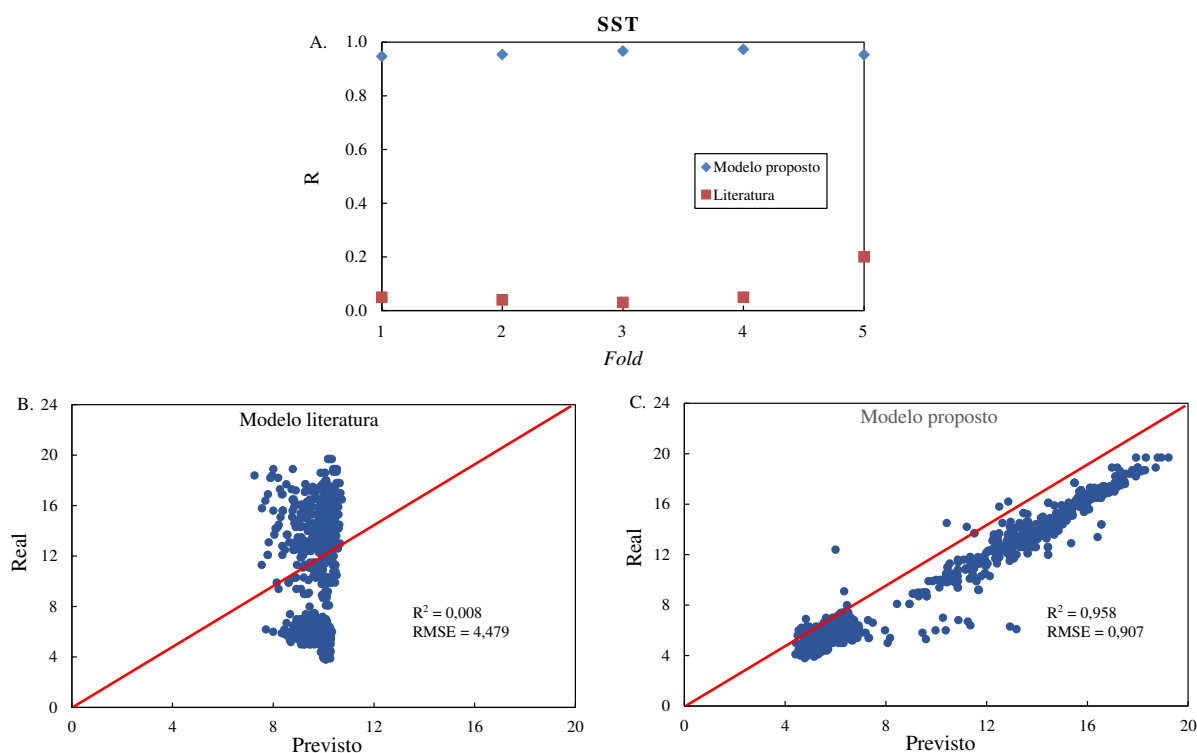


Figura 2.8 – Coeficientes de determinação (A) e gráficos de dispersão para predição dos sólidos solúveis totais de mangas ‘Palmer’ a partir de modelo da literatura (B) e abordagem proposta (C).

Da mesma forma que para a firmeza, foi utilizada a variável L como entrada em um modelo linear, proposto por Abarra et al. (2018). Enquanto que os autores alcançaram um coeficiente de correlação igual a 0,977 para a variedade ‘Carabao’, foi obtido um valor de R igual a 0,388 para a ‘Palmer’. Ao empregar *Random Forest*, foram obtidos resultados significativamente melhores (Figura 2.9A), com um valor médio de R igual a 0,913. Através dos gráficos de dispersão, confirma-se que o modelo de predição sugerido na literatura não se aplica à mangas ‘Palmer’, pois a relação da acidez titulável com o valor médio de L não é linear (Figura 2.9B). Assim, o modelo proposto apresentou-se mais satisfatório, obtendo R^2 de 0,834 (Figura 2.9C).

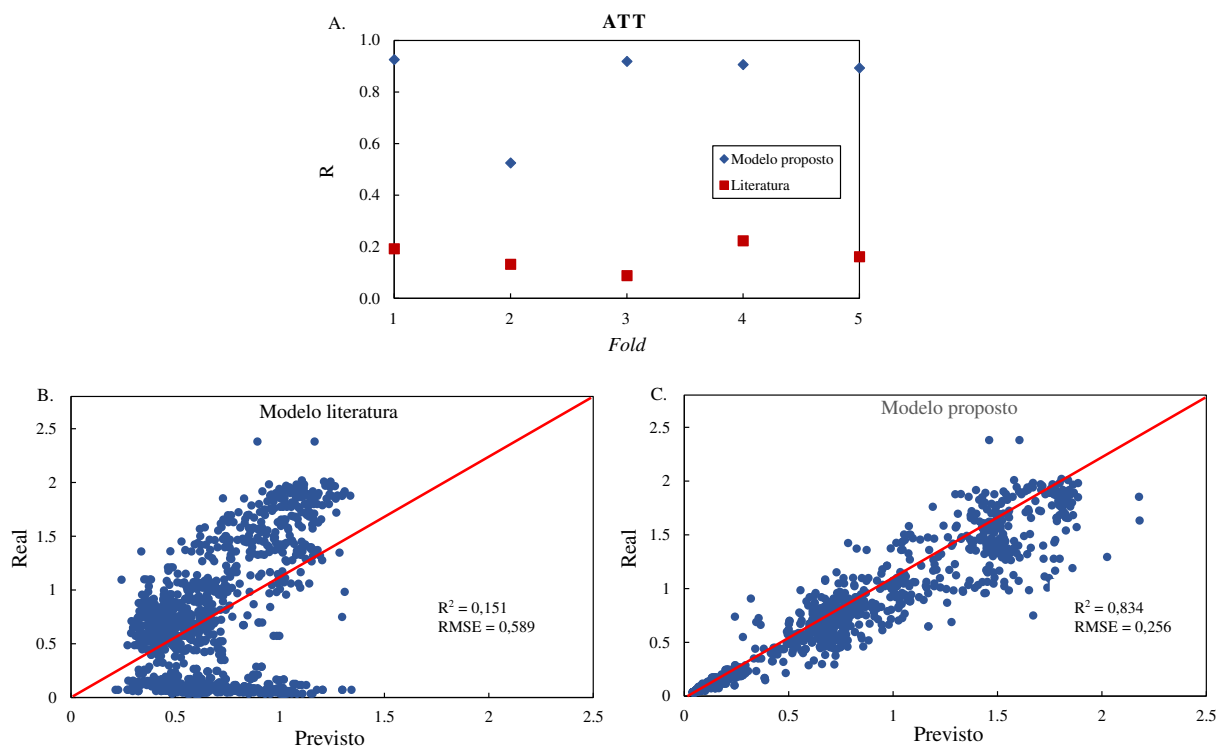


Figura 2.9 – Coeficientes de determinação (A) e gráficos de dispersão para predição da acidez total titulável de mangas ‘Palmer’ a partir de modelo da literatura (B) e abordagem proposta (C).

Assim, todos os atributos de qualidade da manga ‘Palmer’ avaliados foram modelados de forma mais precisa utilizando *Random Forest*, com a técnica *ensemble*, por possuir mais informações da manga como entrada. O que reforça que para cada variedade pode haver um modelo diferente.

5.4 Conclusões

O uso de imagens digitais para predição da massa, firmeza, sólidos solúveis totais e da acidez total titulável de mangas ‘Palmer’, associada à abordagem de processamento proposta superou os métodos encontrados na literatura, podendo determinar esses atributos de qualidade com coeficientes de correlação de 0,992, 0,964, 0,979 e 0,913, respectivamente.

Referências

ABARRA, M. S. J.; SERRANO, E. P; SABULARSE, V. C.; MENDOZA, H. E. T.; ROSARIO, E. J. Determination of fruit ripeness degree of ‘Carabao’ mango (*Mangifera indica* L.) using digital photometry. **Philippine Journal of Science**, v. 147, n. 2, p. 249-253, 2018.

BREIMAN, L.; FRIEDMAN, J.; STONE, C. J.; OLSHEN, R. A. **Classification and regression trees**. Taylor & Francis, 1984, 368p.

CHAGAS, C. S.; CARVALHO JUNIOR, W.; BHERING, S. B.; CALDERANO FILHO, B. Spatial prediction of soil surface texture in a semiarid region using random forest and multiple linear regressions. **Catena**, v. 139, p. 232-240, 2016.

COSTA, J. D. S.; ALMEIDA, F. D. C.; FIGUEIREDO NETO, A.; CAVALCANTE, I. H. L. Physical and mechanical parameters correlated to the ripening of mangoes (*Mangifera indica* L.) cv. 'Tommy Atkins', **Acta Agronômica**, v. 66, n. 2, p. 186-192, 2017.

DONIS-GONZÁLEZ, I. R.; GUYER, D. E.; LEIVA-VALENZUELA, G. A.; BURNS, J. Assessment of chestnut (*Castanea* spp.) slice quality using color images. **Journal of Food Engineering**, v. 115, n. 3, p. 407-414, 2013.

GOULART, C.; LOY, F. S.; GALARÇA, S. P.; GIOVANAZ, M. A.; MALGARIM, M. B.; FACHINELLO, J. C. Evolução do índice DA e coloração da epiderme de mangas da cultivar Tommy Atkins. **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, v. 14, p. 8-13, 2013.

HFBRASIL. **Anuário 2017 – 2018**. 2018.
www.hfbrasil.org.br/br/revista/acessar/completo/anuario-2017-2018.aspx. Acesso em: 16 jul. 2019.

HFBRASIL. **Anuário 2018 – 2019**. 2019.
https://www.hfbrasil.org.br/br/revista/acessar/completo/anuario-2018-2019.aspx Acesso em: 16 jul. 2019.

IAL - INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo, 2008. 1020p.

KHAIRUNNIZA-BEJO, S.; KAMARUDIN, S. Chokanan mango sweetness determination using hsb color space. In: **Computational Intelligence, Modelling and Simulation (CIM-SiM), 2011 Third International Conference on**. IEEE, p. 216-221, 2011.

LI, J. B.; HUANG, W. Q.; ZHAO, C. J. Machine vision technology for detecting the external defects of fruits. **Imaging Science Journal**, v. 63, n. 5, p. 241-251, 2015.

NAGLE, M.; INTANI, K.; ROMANO, G.; MAHAYOTHEE, B.; SARSDUD, V.; MÜLLHER, J. Determination of surface color of 'all yellow' mango cultivars using computer vision. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 9, n. 1, p. 42-50, 2016.

SILVA, L. A.; PERES, S. M.; BOSCARIOLI, C. **Introdução à mineração de dados: com aplicações em R**. Elsevier Brasil, 2017, 296p.

TEOH, C.; SYAIFUDIN, A. M. Image processing and analysis techniques for estimating weight of chokanan mangoes. **Journal of Tropical Agriculture and Food Science**, v. 35, n. 1, p. 183-190, 2007.

TRINDADE, D. C. G.; LIMA, M. A. C.; ASSIS, J. S. Ação do 1-metilciclopropeno na conservação pós-colheita de manga 'Palmer' em diferentes estádios de maturação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 9, p. 753-762, 2015.

ZHANG, Y.; YANG, Y. Cross-validation for selecting a model selection procedure. **Journal of Econometrics**, v. 187, n. 1, p. 95-112, 2015.

YAHAYA, O. K. M.; JAFRI, M. Z. M.; AZIZ, A. A.; OMAR, A. F. Determining sala mango qualities with the use of RGB images captured by a mobile phone camera. **In AIP Conference Proceedings**, AIP Publishing, volume 1657, page 060003, 2015.

YOSSY, E. H.; PRANATA, J.; WIJAYA, T.; HERMAWAN, H.; BUDIHARTO, W. Mango fruit sortation system using neural network and computer vision. **Procedia computer science**, v. 116, p. 596-603, 2017.

6. CAPÍTULO 3

DESENVOLVIMENTO DE MÁQUINA VIBRATÓRIA E SIMULAÇÃO DE TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE MANGAS 'PALMER'

DESENVOLVIMENTO DE MÁQUINA VIBRATÓRIA E SIMULAÇÃO DE TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE MANGAS ‘PALMER’

Resumo

O estudo das causas de perdas pós-colheita de frutas é importante para evitar redução da qualidade e do quantitativo destinado ao consumidor, decorrentes, por exemplo, da influência de impactos frequentes devido às vibrações durante o transporte. Neste sentido, objetivou-se com este estudo desenvolver uma máquina vibratória para simular o transporte rodoviário de frutas produzidas na região do Vale do São Francisco, e avaliar a qualidade de mangas ‘Palmer’ no armazenamento, após serem submetidas a diferentes esforços vibracionais através do uso desta máquina. O trabalho foi dividido nas seguintes etapas: análise do perfil das frequências geradas no transporte rodoviário de frutas; desenvolvimento e ensaios exploratórios da máquina vibratória; aquisição da matéria-prima (mangas ‘Palmer’); ensaios de vibração com os frutos utilizando três frequências constantes de vibração; e armazenamento das mangas para avaliação da qualidade, quanto: perda de massa, índice de diferença de absorbância (índice DA), índice de escurecimento (IE) da casca e da polpa, firmeza da polpa, teor de sólidos solúveis totais e acidez total titulável. A máquina desenvolvida foi capaz de simular frequências específicas de vibração de forma satisfatória. O estresse por vibração durante o transporte simulado acelerou a perda de massa, a diminuição da firmeza da polpa e o escurecimento da casca de mangas ‘Palmer’.

Palavras-chave: Perdas pós-colheita, vibração, perfil de frequências, índice de escurecimento.

6.1 Introdução

O transporte é uma fase crucial na distribuição de produtos alimentícios frescos, desde a operação de colheita até o consumidor (SPRINGAEL; PATERNOSTER; BRAET, 2018). Em geral, os produtos agrícolas são mais difíceis de gerenciar adequadamente do que commodities industriais em termos de logística, porque são altamente sensíveis ao estresse de vibração durante o transporte (JUNG et al., 2018).

A vibração gerada pelos veículos durante o transporte rodoviário é uma das causas de danos aos frutos, detectáveis visualmente ou não. Alterações qualitativas e quantitativas em frutas causadas pela vibração foram estudadas por diversos pesquisadores nos últimos anos, como: melancia (SHAHBAZI et al., 2010), melão (ZHOU et al., 2015), banana (WASALA et al., 2015), uva (JUNG et al., 2018), maçã (SPRINGAEL; PATERNOSTER; BRAET, 2018) e kiwis (TABATABAEKOLOR et al., 2013; WEI et al., 2019).

Springael, Paternoster e Braet (2018) ressaltaram que vibrações que ocorrem durante os transportes são um dos principais contribuintes para perfurações em maçãs e, como consequência, perdas podem ser atribuídas a doenças fúngicas que entram através de tecidos machucados ou perfurados e contaminam a fruta. Neste caso, os autores sugeriram um planejamento de rotas de transporte com base nos custos, evitando segmentos de estrada mal conservados ou mais suscetíveis a induzir amplitudes de vibração mais elevadas, a fim de reduzir a taxa de perda de maçãs.

Jung et al. (2018) e Wei et al. (2019) conduziram experimentos simulados de vibração em escala de laboratório para avaliar o efeito do estresse causado durante o transporte na mudança na qualidade de frutas. Os primeiros verificaram que o estresse de vibração resultou em maior perda de massa e produção de etileno, podendo acelerar a degradação das uvas embaladas. Semelhante aos resultados observados por Wei et al. (2019), que concluíram que a vibração simulada do transporte de kiwis causou danos intracelulares nos tecidos dos frutos, acelerando a perda de água e o processo de murchamento.

Como as vibrações têm uma influência direta na integridade e qualidade do produto, é essencial obter conhecimento sobre a magnitude que ocorrem durante o transporte, possibilitando pesquisadores utilizarem informações para realizar testes avançados de simulação, podendo agregar informações a projetos de embalagens (PATERNOSTER et al., 2018) e meios de escoamento da produção.

Assim, objetivou-se com o presente trabalho desenvolver uma máquina vibratória para simular o transporte rodoviário de frutas e avaliar a qualidade de mangas ‘Palmer’ no armazenamento, após diferentes esforços vibracionais.

6.2 Material e Métodos

6.2.1 Análise do perfil das frequências geradas no transporte rodoviário de frutas

A fim de determinar as condições de vibração mais próximas da realidade durante o transporte rodoviário de mangas destinadas à exportação, foi realizado um teste numa distância de 210 km, considerando ida e volta, estrada asfaltada no trecho da rodovia BR-407, que liga as cidades de Petrolina, em Pernambuco, a Jaguarari, na Bahia (Figura 3.1), com caminhão à uma velocidade média de 75 km/h.

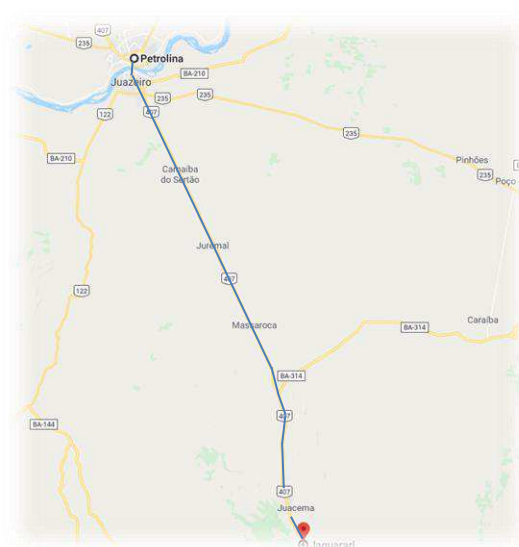


Figura 3.1 – Representação gráfica do trecho onde foram realizados os testes de vibrações.
Fonte: GoogleMaps

O sistema montado para aquisição dos dados de vibração *in loco* foi constituído de um caminhão baú; um acelerômetro Dytran (2 – 10000 Hz), um analisador espectral de frequência, um Laptop e o *Software* Rt Pro Photon para processamento dos dados (Figura 3.2).

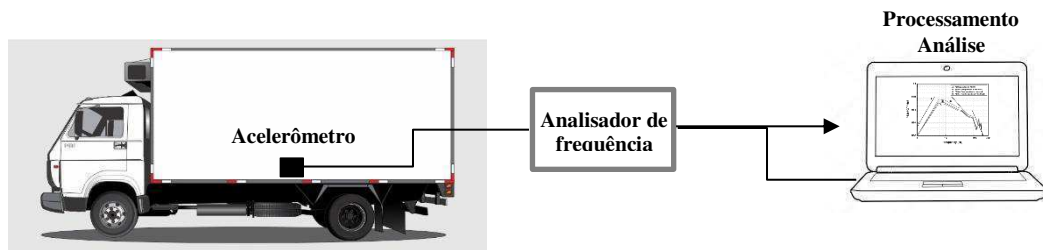


Figura 3.2 - Diagrama do sistema de aquisição de dados de vibração.

Um caminhão baú sem carga foi preparado para receber ao centro do piso do baú, um sensor de vibrações (acelerômetro). Esta localização do sensor foi selecionada por ser um ponto sobre a linha onde estaria o centro de massa do caminhão, local onde sob o ponto de vista da distribuição dos esforços, estarão concentrados os maiores níveis de vibrações sobre a carroceria do caminhão. O acelerômetro foi unido ao piso do baú por meio de uma cera adequada para este procedimento e ligado por cabos blindados ao analisador de frequência (aquisição de dados), que por sua vez se comunica ao laptop (processamento e análise), de onde se pode visualizar os dados coletados e armazená-los (Figura 3.2).

O parâmetro usado para o cálculo da energia do sinal em cada banda de frequência foi o valor RMS (Root Mean Square) ou valor médio quadrático (Equação 3.1), com resultados expressos em $9,81 \text{ m/s}^2$.

$$X_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f(t)^2 dt} \quad \text{Eq. 3.1}$$

Onde $f(t)$ é a função temporal das vibrações em cada banda de frequência.

Foi selecionada uma faixa de frequência ampla, de até 1 kHz. A obtenção dos sinais durante o trajeto corresponde a sinais de 4096 pontos com duração de 1,6s. Obtidos os sinais, estes foram processados para melhor identificação do seu conteúdo frequencial. Os sinais foram sujeitos à uma análise de banda de frequência, para classificação de bandas com maior conteúdo de energia provenientes da vibração durante o trajeto. Inicialmente foram usados bandas de frequência de 100 Hz de largura para todo o domínio de frequência (0-1kHz), e posteriormente foi selecionado a banda 0 – 100 Hz, sendo esta subdividida em intervalos de 10 em 10 Hz.

6.2.2 Desenvolvimento e ensaios exploratórios da máquina vibratória

A máquina para os ensaios de vibração foi desenvolvida em parceria com a equipe do Laboratório de Ensaios Mecânicos (LEM) da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF). Para o projeto e fabricação foi realizada uma pesquisa prévia sobre os materiais ferrosos, processos de união e operações de usinagem aplicados a máquinas com esforços de vibração. O material utilizado para a confecção da máquina está descrito no Apêndice A e a modelagem pode ser observada na figura abaixo:

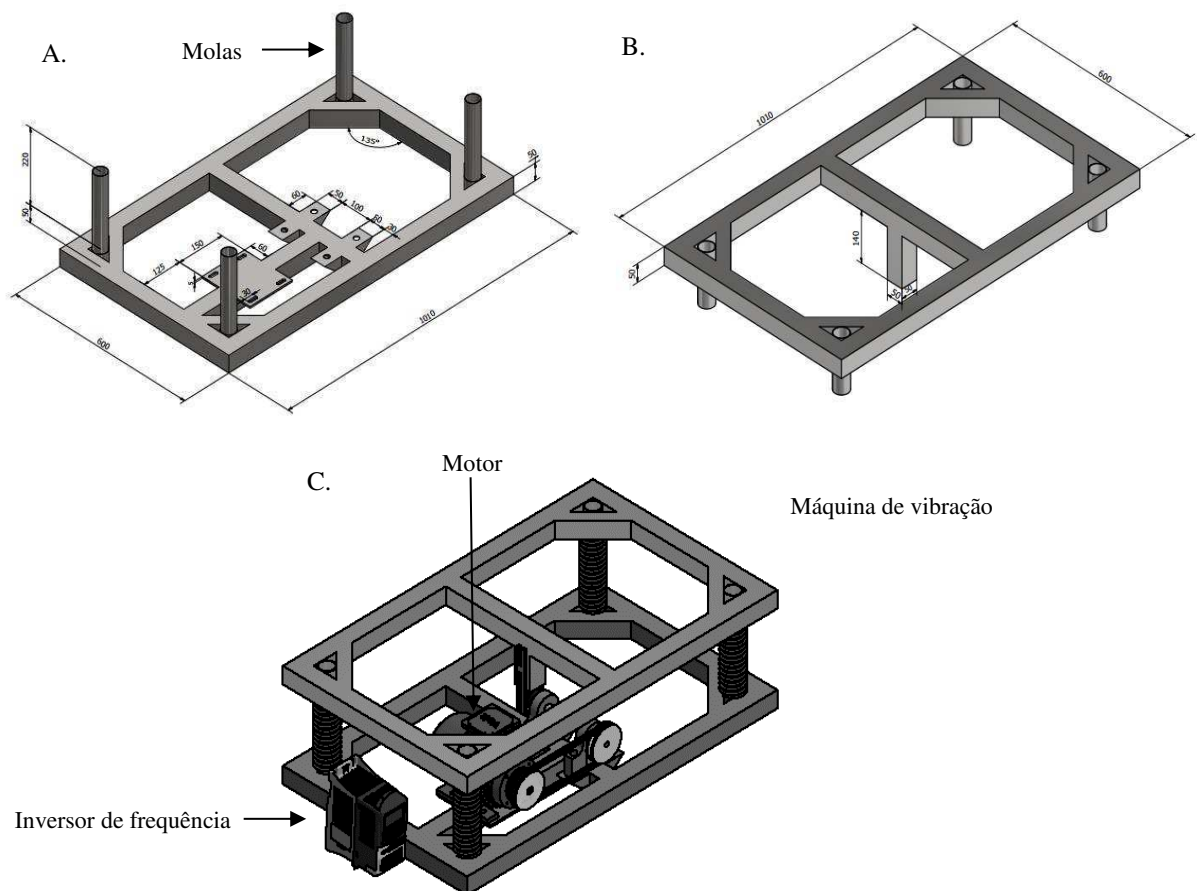


Figura 3.3 – Bancada de base (A); bancada de mesa (B) e modelagem 3D da máquina (C).

A estrutura metálica foi de aço, com dimensões, 101 cm de comprimento, 60 cm de largura e 27 cm de altura, com quatro molas nas extremidades para proporcionar equilíbrio estático e dinâmico para máquina, bem como o amortecimento dos impactos (Figura 3.3A). Para verificar a constante de rigidez das molas, realizou-se um ensaio de compressão através da máquina universal de ensaios eletromecânicos, modelo EMIC DL 10.000, controlada por um microcomputador através do software TESC versão 3.04, utilizando uma placa cilíndrica de 100 mm de diâmetro, com velocidade de compressão de 1 mm/s.

A fim de garantir o balanceamento da máquina foi determinada a deformação média nas porções medianas das laterais da máquina, utilizando dois relógios comparadores digitais (Figura 3.4), através do ensaio em condições de vibração (40 Hz), com carga total de 258 N (peso simulado de seis caixas tipo exportação 4 kg com mangas calibre 8) e com amplitude fixada em 1,2 mm. Essa deformação foi medida pela diferença entre o comprimento das molas antes e após cinco ensaios.

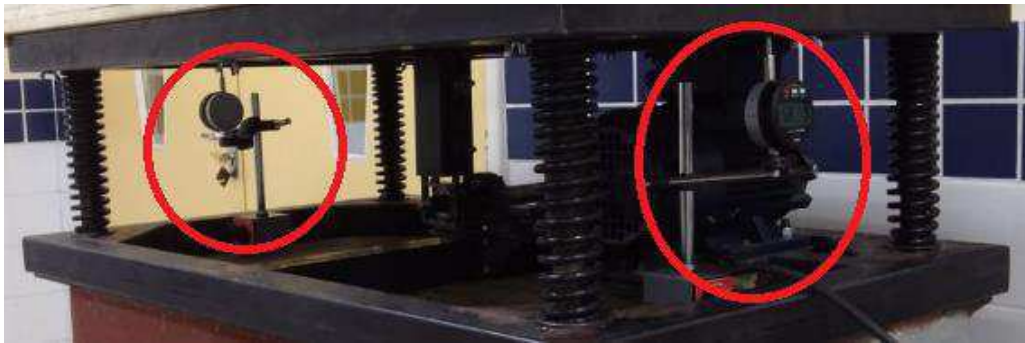


Figura 3.4 – Posição dos relógios comparadores durante teste de balanceamento da máquina de vibração.

O sistema utilizado para originar a vibração foi o Came, constituído de um garfo escocês, rolamento e um eixo (Apêndice B). A rotação do eixo foi originada pelo torque de um motor elétrico trifásico, de alto rendimento, modelo KJN 60M1-4, 1 cv, acionado por um inversor de frequência série CFW-10 (Figura 3.3C e Apêndice C). A transferência do torque do motor ao eixo foi através do uso de uma correia em V e duas polias, sendo uma encaixada no eixo do motor e a outra na extremidade concêntrica do eixo.

Foi confeccionada uma estrutura de madeira (mesa) para ser colocada sobre a estrutura metálica para dispor as caixas contendo os frutos. Todo o conjunto foi fixado em uma plataforma de concreto (bancada de inércia), para minimizar possíveis interferências no sistema mecânico construído (Figura 3.5).

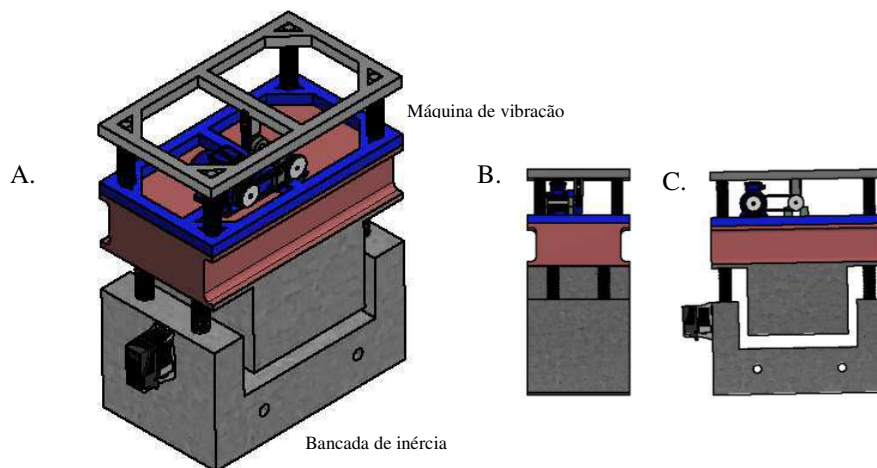


Figura 3.5 – Diagrama esquemático com a vista geral (A), vista lateral (B) e vista frontal (C) da máquina vibratória.

Após o processo de dimensionamento e fabricação, a máquina vibratória foi submetida a um processo de ajuste mecânico para um funcionamento adequado. O principal parâmetro ajustado foi a frequência das vibrações mecânicas, considerando variações de carga e tempo. Os ensaios exploratórios se deram testando as rotações no motor, utilizando um acelerômetro, um analisador espectral de frequência e um *Software* (Figura 3.6), cujas especificações são as mesmas do sistema do item 6.2.1, a fim de certificar a ocorrência das frequências de vibrações desejadas, variando de 1 a 100 Hz.

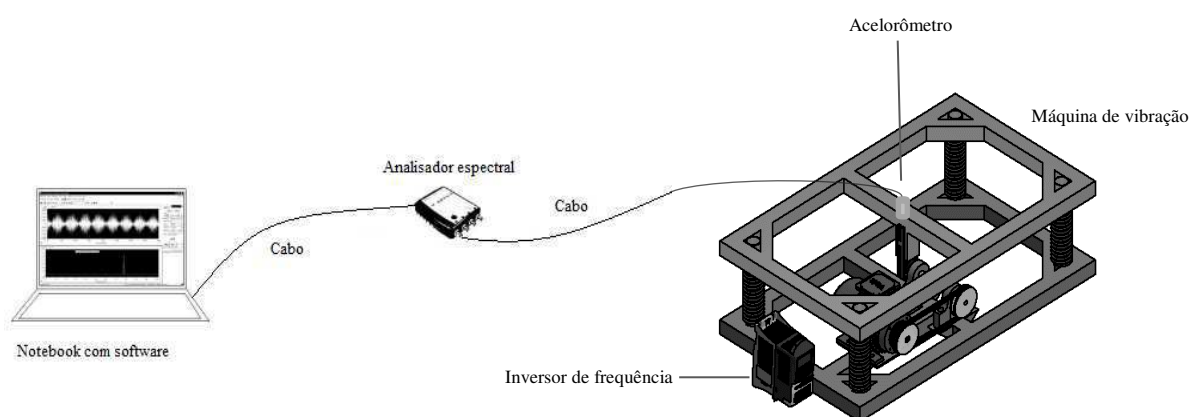


Figura 3.6 – Sistema para ensaios exploratórios na máquina vibratória.

6.2.3 Aquisição da matéria-prima

As mangas ‘Palmer’ foram provenientes da Fazenda GrandValle, localizada no município de Petrolina – PE. Os frutos tinham calibre 8 e estavam no estágio 2 de maturação (aspecto externo do fruto com 75% de cor verde e 25% roxa), conforme critérios de exportação utilizados pela Empresa. Após beneficiamento no *Packing house* as mangas foram transportadas ao Laboratório para os ensaios experimentais.

6.2.4 Condições experimentais

Os ensaios foram realizados com três frequências de vibração, constantes, determinadas após os estudos exploratórios, com duração de 7h, que simulou o tempo que leva até o Porto de Salvador na Bahia a, aproximadamente, 529 km.

Para cada ensaio foram usadas seis caixas de papelão tipo exportação (350 mm x 285 mm x 105mm), dispostas uma ao lado da outra, contendo oito frutos cada e a simulação do transporte em sala refrigerada a 16 °C e $68 \pm 4\%$ de umidade relativa do ar (UR). Após essa etapa os frutos foram armazenados em B.O.D a 12 ± 1 °C e $58 \pm 2\%$ UR, por 28 dias e avaliados a cada sete dias.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com cinco repetições, cada uma constituída de um fruto, em esquema fatorial 4 x 5, que representa as frequências constantes de vibração (0, 20, 30 e 40 Hz) e cinco períodos de armazenamento (0, 7, 14, 21 e 28 dias). Os resultados foram submetidos à análise de variância, aplicando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade e análise de regressão, por meio da utilização do *software Assistat*, Versão 7.7 beta (SILVA; AZEVEDO, 2016).

6.2.5 Avaliações durante o armazenamento

A fim de avaliar possíveis danos provocados pelo estresse resultante da vibração no transporte, os frutos foram avaliados durante o armazenamento quanto à perda de massa, índice de diferença de absorvância (índice DA), índice de escurecimento (IE) da casca e da polpa, firmeza da polpa, teor de sólidos solúveis totais e acidez total titulável, conforme metodologias descritas a seguir:

Perda de massa (PM) – foi determinada com auxílio de balança semianalítica com precisão de 0,01g e os resultados expressos em porcentagem (Equação 3.2).

$$\text{Perda de massa (\%)} = \frac{MI - MF}{MI} \times 100 \quad \text{Eq. 3.2}$$

Em que:

MI - massa inicial da amostra, em gramas, em um determinado período;

MF - massa final da amostra, em gramas, no período seguinte a MI.

Firmeza da polpa – determinada através dos ensaios de penetração, utilizando-se máquina universal de ensaios de acionamento eletromecânico, modelo EMIC DL 10.000, software TESC versão 3.04, adaptada para experimentos com produtos agrícolas. Após remoção parcial da epiderme, os frutos foram colocados em posição de repouso, submetendo-os a uma penetração de 1 mm/s, profundidade de 25 mm, com ponteira de 6 mm. Os resultados foram expressos em Newtons (N).

Índice de escurecimento (IE) da casca e da polpa - as coordenadas de cor da casca e da polpa dos frutos foram obtidas das médias de duas leituras em pontos equidistantes de cada fruto, utilizando-se um colorímetro digital portátil da marca Konica Minolta DP-400, sendo elas: L, que corresponde a luminosidade (brilho, claridade ou reflectância, onde 0 representa escuro/opaco e 100 o branco); a* (valores negativos correspondem à intensidade da cor verde e valores positivos a intensidade da cor vermelha) e b* (valores negativos correspondem a intensidade da cor azul e valores positivos a intensidade da cor amarela). A partir dos valores obtidos foram determinados os índices de escurecimento (PATHARE; OPARA; AL-SAID, 2013; OLIVEIRA, 2013), para casca e polpa:

$$IE = 100 \times \frac{(X - 0,31)}{0,172} \quad \text{Eq. 3.3}$$

$$X = \frac{(a^* + 1,75L)}{(5,645L + a^* - 3,012b^*)} \quad \text{Eq. 3.4}$$

Sólidos solúveis totais (SST) - foram determinados por meio de um refratômetro digital (Invert Sugar Refractometer HI 96804) com compensação automática de temperatura e os resultados expressos em °Brix.

Acidez total titulável (ATT) - determinada titulando-se a amostra com solução de hidróxido de sódio (NaOH 0,1M), utilizando como indicador fenolftaleína a 1% (IAL, 2008). Os resultados foram expressos em percentagem de ácido cítrico.

Com exceção da perda de massa, as demais avaliações foram feitas nos dois lados dos frutos, considerando a posição de repouso.

6.3 Resultados e Discussão

6.3.1 Análise do perfil das frequências geradas no transporte rodoviário de frutas

Após o teste com o caminhão, o espectro de frequência obtido foi amplo, até 1 kHz, mas a amplitude dos sinais foi maior para o intervalo de 1 a 100 Hz (Figura 3.7). Os resultados corroboram com os de Jung et al. (2018), que verificaram em estudos de rotas de distribuição de uvas através de simulação do transporte rodoviário um intervalo de frequências entre 1 e 200 Hz, com maiores níveis de energia até 100 Hz. Os autores constataram que as frutas em estudo foram danificadas devido ao grande deslocamento de vibração em bandas de baixa frequência (<40Hz). Essas baixas frequências podem ser atribuídas à estrutura do caminhão, como sistema de suspensão e tipos de pneus, e à rugosidade da estrada (PATERNOSTER et al., 2017).

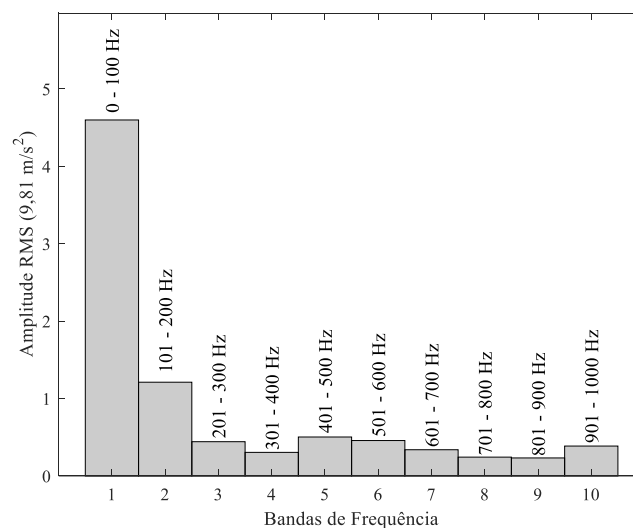


Figura 3.7 - Análise de amplitude por bandas de frequência. RMS - valor médio quadrático.

A banda de frequência mais representativa (0-100Hz) foi subdividida (Figura 3.8), o extremo inferior (0-10Hz) foi subtraído por representar níveis de energia para o carro estacionado

e de baixa amplitude de vibração, a partir de 40 Hz foi observado um efeito de ressonância¹, fenômeno que deve ser evitado no projeto de estruturas e máquinas, uma vez que grandes amplitudes de vibração podem acelerar o processo de falha por fadiga, desconforto, ruído, dentre outros problemas (SILVA, 2009). As maiores RMS foram verificadas nas faixas de 11-20 Hz, 21-30 Hz e 31-40 Hz. A fim de simular condições extremas, para os testes de simulação na mesa vibratória foram consideradas as frequências de vibrações mais altas desses três intervalos, considerando que os níveis de frequência eram os mesmos em todo o piso do caminhão e constantes durante o transporte.

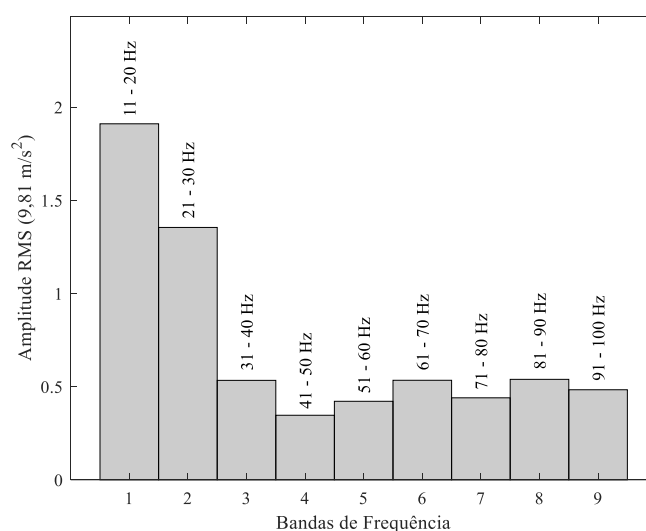


Figura 3.8 - Análise de amplitude por bandas de frequência de 0 a 100Hz.

6.3.2 Desenvolvimento e ensaios exploratórios da máquina vibratória

Após as etapas de projeto e fabricação o resultado da montagem da máquina pode ser observado na Figura 3.9.

¹ É o fenômeno que acontece quando um sistema físico recebe energia por meio de excitações de frequência igual a uma de suas frequências naturais de vibração. Assim, o sistema físico passa a vibrar com amplitudes cada vez maiores. <https://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatoria/Ondas/ressonancia.php>



Figura 3.9 – Visão frontal da máquina de vibração com mesa de madeira fixada.

A partir dos ensaios de compressão das molas, observou-se uma linearidade e homogeneidade quanto ao comportamento das molas (Figura 3.10), levando a um sistema balanceado, certificado no ensaio exploratório, onde ao aplicar uma força de 258 N verificou-se com o uso dos relógios comparadores uma deformação média de, aproximadamente, 10,56 mm.

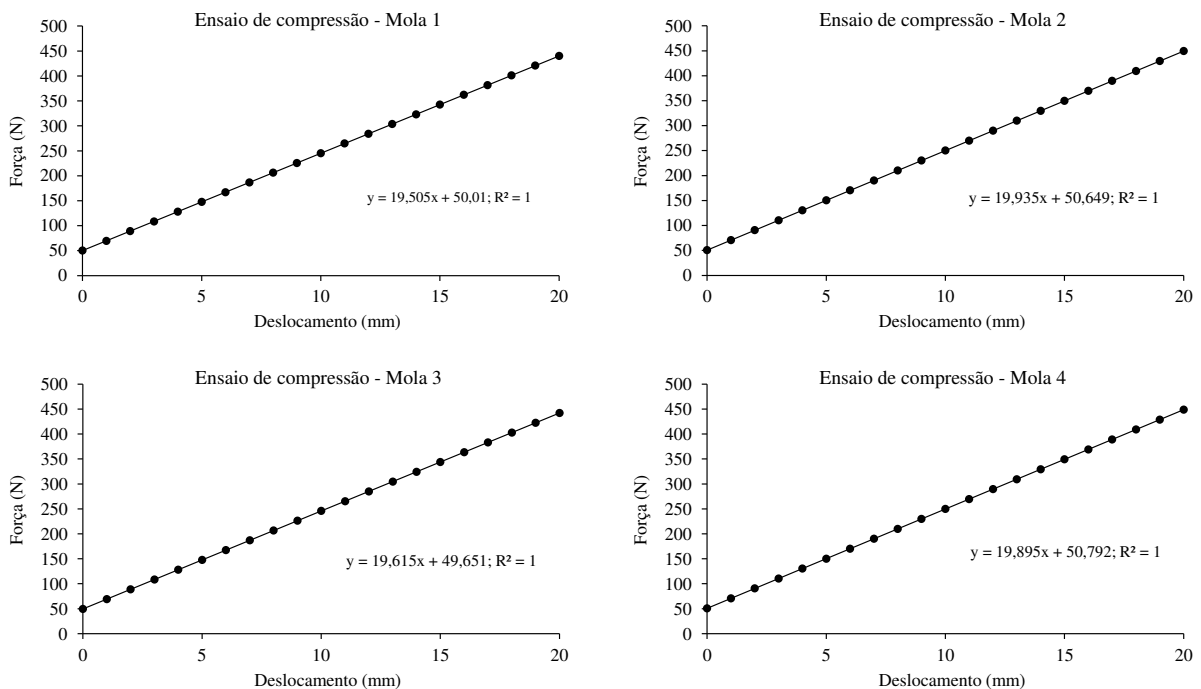


Figura 3.10 – Deformação das quatro molas utilizadas na máquina de vibração durante ensaio de compressão.

Além disso, através do sistema montado (Figura 3.5), verificou-se que as frequências desejadas, 20, 30 e 40 Hz foram obtidas satisfatoriamente, inferindo que não houve interferência

de fatores externos, como a estrutura da bancada de inércia. O conjunto para a realização dos testes ficou apresentado da seguinte forma:



Figura 3.11 – Máquina de vibração com caixas tipo exportação contendo mangas ‘Palmer’ (A) e conjunto máquina e banca de inércia (B) utilizado nos ensaios experimentais.

6.3.3 Avaliações durante o armazenamento

Durante o período de armazenamento das mangas ‘Palmer’ verificou-se que, após serem submetidas à vibração, a movimentação da água dos frutos em direção ao ambiente possivelmente foi intensificada resultando num aumento da perda de massa, proporcional ao incremento da frequência vibracional (Figura 3.12). Considerando que a redução do peso das frutas é um fator importante no mercado, houve alteração no fator qualidade, pois as mangas sob estresse vibratório de 20, 30 e 40 Hz perderam em torno de 9%, 10% e 12%, respectivamente, após vinte e oito dias de armazenamento refrigerado, enquanto que nas do grupo controle essa perda foi de 7%.

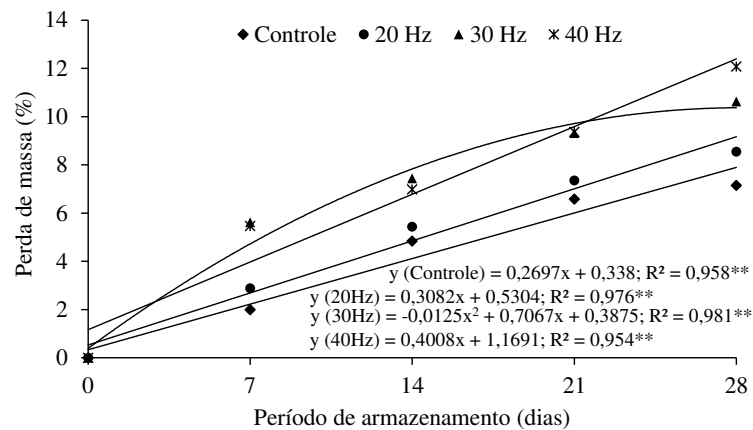


Figura 3.12 - Perda de massa de mangas ‘Palmer’ após vibração em diferentes frequências e armazenadas por vinte e oito dias sob refrigeração.

O aumento da perda de massa foi gradual para todas as mangas avaliadas, semelhante ao que foi verificado por Jung et al. (2018), onde a redução da massa de uvas após transporte simulado cresceu à medida que durava o armazenamento. Os autores constataram que as frutas que passaram por estresse perderam 6% a mais de massa do que as do grupo controle, relacionando a aceleração da redução do teor de umidade ao aumento na quantidade de etileno liberado pela intensificação da respiração, causado pelo estresse das uvas durante o transporte. Wei et al. (2019) observaram que embora não houvessem danos visíveis na superfície de kiwis ‘Xuxiang’, a vibração simulada (20 Hz por 5 horas) estimulou a perda de água, atribuída ao dano intracelular que acelerou o murchamento dos frutos, podendo afetar a firmeza e o amadurecimento, reforçando a importância dos tipos de embalagem e de transporte de frutas para garantir a boa qualidade aos consumidores finais.

A firmeza da polpa das mangas foi reduzida com o avanço do período de armazenamento, além do fator tempo o amolecimento da polpa sofreu efeito das intensidades de vibração, cuja firmeza média passou de inicialmente 137 N, para, aproximadamente, 43 N para as frutas que não passaram pelo processo vibratório e 37, 21 e 13 N ao final do armazenamento, após vibração à uma frequência de 20, 30 e 40 Hz, respectivamente (Figura 3.13).

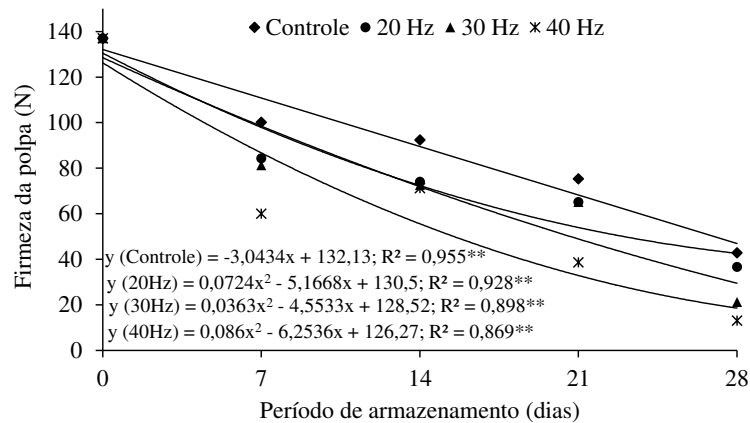


Figura 3.13 - Firmeza da polpa de mangas ‘Palmer’ após vibração em diferentes frequências e armazenadas por vinte e oito dias sob refrigeração.

Uma minimização das intensidades de vibração durante o transporte pode reduzir a perda de firmeza e conseqüentemente da qualidade de mangas Palmer, concordando com o que foi ressaltado por Zhou et al. (2015), cuja curta vida de prateleira e a rápida perda de qualidade dos melões ‘Hami’ foram atribuídos à vibração de transporte. Os autores constataram que a firmeza dos melões, após vibração numa banda espectral de 2-200 Hz, foi 52,9% menor que a dos frutos controle, aos vinte e oito dias de armazenamento, revelando que a vibração aumentou o amolecimento dos melões devido ao vazamento da membrana celular e à atividade da hidrolase e à perda dos constituintes da parede celular.

Levando-se em consideração as coordenadas de cor (L a b) de uma só vez, o índice de escurecimento da casca dos frutos aumentou significativamente, tanto com o tempo de armazenamento quanto com a variação da frequência de vibração (Figura 3.14A). Percebeu-se que os frutos que passaram pelo processo de vibração tiveram um maior escurecimento da casca ao final do armazenamento o que indica um efeito degradativo, podendo influenciar na aceitação do mercado consumidor.

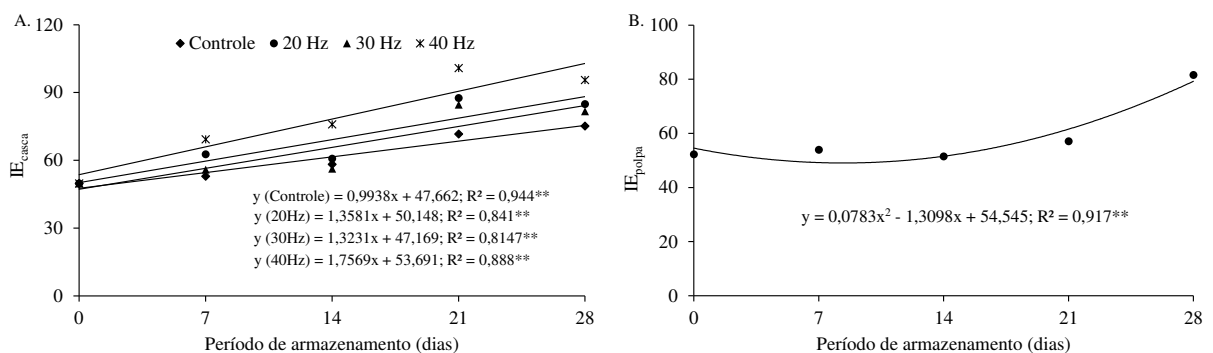


Figura 3.14 - Índice de escurecimento da casca (A) e da polpa (B) de mangas ‘Palmer’ após vibração em diferentes frequências e armazenadas por vinte e oito dias sob refrigeração.

Embora não tenham sido detectados danos imediatos nos frutos, foram observadas degradações no tecido que necessitaram de tempo para verificação, como manchas decorrentes de impactos por vibração (Figura 3.15). De maneira geral a ocorrência foi progressiva, porém, nem todos os frutos foram acometidos por esses danos. Para os frutos que passaram pelo processo de vibração à 20 Hz não foram verificados danos visíveis, no entanto, à 30 e 40 Hz os danos foram verificados desde o sétimo dia de armazenamento. Esses danos comprometem a comercialização das mangas, tendo em vista que normas de qualidade de manga para mercados internacionais estabelecem como padrões mínimos que os frutos para consumo *in natura*, após embalados, devem estar intactos, firmes, com aparência fresca, livre de materiais estranhos, sem danos causados por pragas ou por baixas temperaturas e sem manchas ou danos mecânicos (EMBRAPA, 2000).



Figura 3.15 – Danos em mangas ‘Palmer’ após vibração com transporte simulado à 40 Hz, armazenadas por sete (A) e vinte e oito dias (B) sob refrigeração.

O escurecimento da polpa não foi afetado pelas vibrações, havendo um aumento inerente ao período de armazenamento (Figura 3.14B), como verificado por Miguel et al (2013) em mangas ‘Palmer’ conservadas a 12°C por vinte e um dias e por Costa et al. (2017) em estudos sobre vida útil de mangas ‘Tommy Atkins’, o que pode ser promovido pela redução da reflexão da luz devido ao menor conteúdo de água da polpa.

Tanto para o teor de sólidos solúveis totais quanto para a acidez total titulável não foi verificado o efeito das vibrações, havendo alterações quando analisado o período de armazenamento (Figura 3.16).

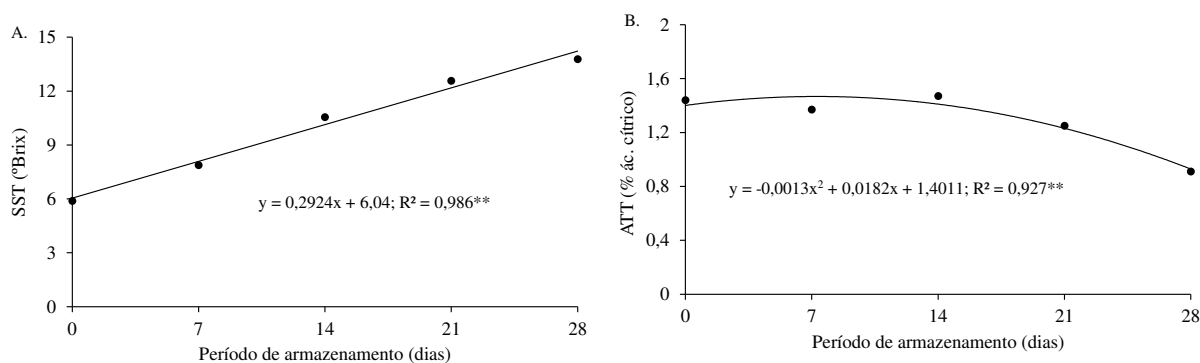


Figura 3.16 - Sólidos solúveis totais - SST (A) e acidez total titulável- ATT (B) de mangas ‘Palmer’ armazenadas por vinte e oito dias sob refrigeração.

Independentemente do estresse vibratório o aumento médio do teor de sólidos solúveis totais das mangas foi de 7,9 °Brix ao final dos dias de avaliação. Jung e Park (2012) observaram que os sólidos solúveis de maçãs ‘Fuji’ aumentaram significativamente com o tempo de armazenamento em todas as amostras, com ou sem estresse vibratório, devido à conversão do amido em açúcar. No entanto, o aumento foi mais rápido em maçãs após vibração, inferindo que essa mudança foi devido à uma elevação da temperatura e uma maior atividade enzimática no processo de transformação de açúcares, fatores que possivelmente não acometeram mangas ‘Palmer’ com a mesma intensidade.

A acidez titulável média decresceu de 1,44% no início do armazenamento para 0,91% ao final dos vinte e oito dias de armazenamento, associado à diminuição de ácidos orgânicos no processo respiratório e conversão dos mesmos em açúcares (FAASEMA; ALAKALI; ABU, 2014), independente do processo de vibração. Serpa et al. (2014) também observaram que o fator tempo foi determinante na redução da acidez de mangas ‘Palmer’, passando de 0,5 para 0,3% de ácido cítrico durante o armazenamento.

Conclusões

Ao final do desenvolvimento da máquina vibratória foi possível simular frequências específicas de vibração de forma satisfatória, possibilitando a comparação de experimentos em laboratório com estudos realizados em transporte real de frutas.

A qualidade de mangas ‘Palmer’ foi afetada pelo estresse por vibrações durante o transporte simulado, que acelerou a perda de massa, a diminuição da firmeza da polpa e o escurecimento da casca, o que reduz o tempo de armazenamento; além do aparecimento de manchas que podem refletir na aceitação do mercado consumidor.

Referências

ALVES, R. E.; FILGUEIRAS, H. A. C.; MENEZES, J. B.; ASSIS, J. S.; LIMA, M. A. C.; AMORIM, T. B. F.; MARTINS, A. G. Colheita e pós-colheita. In: GENÚ, P. J. C.; PINTO, A. C. Q. (Ed.). **A cultura da mangueira**. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológica, p. 380-405, il., 2002.

COSTA, J. D. S.; ALMEIDA, F. A. C.; FIGUEIREDO NETO, A.; COSTA, M. S.; FERREIRA, E. A. Vida útil de mangas ‘Tommy Atkins’ armazenadas em embalagem XTend sob refrigeração e condição ambiente. **Revista Espacios**, v. 38, n. 39, p. 27, 2017.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manga: Pós-colheita** / Heloísa Almeida Cunha Filgueiras, organizadora; Embrapa. — Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, p. 14, 2000.

FAASEMA, J.; ALAKALI, J. S.; ABU, J. Effects of storage temperature on 1-methylcyclopropene treated mango (*Mangífera indica*) fruit varieties. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 38, p. 289-295, 2014.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ - IAL. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos** / coordenadores Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tiglea - São Paulo, 1020p, 2008.

JUNG, H. M.; LEE, S.; LEE, W. H.; CHO, B. K.; LEE, S. H. Effect of vibration stress on quality of packaged grapes during transportation. **Engineering in Agriculture, Environment and Food**, v. 11, n. 2, p. 79-83, 2018.

JUNG, H. M.; PARK, J. G. Effects of Vibration Stress on the Quality of Packaged Apples during Simulated Transport. **Journal of Biosystems Engineering**, v. 37, n.1, p. 44-50, 2012.

MIGUEL, A. C. A.; DURIGAN, J. F.; BARBOSA, J. C.; MORGADO, C. M. A. Qualidade de mangas cv. Palmer após armazenamento sob baixas temperaturas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 2, p. 398-408, 2013.

OLIVEIRA, A. N. **Pectinas de casca de manga (*Mangífera indica* L.) cv. Ubá: otimização da extração, caracterização físico-química e avaliação das propriedades espessantes e gelificantes**. 2013. 151 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

PATERNOSTER, A.; VANLANDUIT, S.; SPRINGAEL, J.; BRAET, J. Vibration and shock analysis of specific events during truck and train transport of food products. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 15, p. 95-104, 2018.

PATHARE, P. B.; OPARA, U. L.; AL-SAID, F. A. J. Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, n. 1, p. 36-60, 2013.

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**, v. 61, n. 6, p. 975-982, 2014.

SHAHBAZI, F.; RAJABIPOUR, A.; MOHTASEBI, S.; RAFIE, S. Simulated in-transit vibration damage to watermelons. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 12, n. 1, p. 23–34, 2010.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A.V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, p. 3733-3740, 2016.

SILVA, S. **Vibrações mecânicas**. 2009, 151p. Disponível em:<<http://www.joinville.ifsc.edu.br/~pauloboni/MECANISMOS/DIN%C3%82MICA%20DINAMICA%20M%20QUINAS/Apostila%20-%20Samuel%20da%20Silva%20-%20MUITO%20BOA%20-%20Did%C3%A1tica.pdf>>. Acesso em: 15 Ago. 2019.

SPRINGAEL, J.; PATERNOSTER, A.; BRAET, J. Reducing postharvest losses of apples: Optimal transport routing (while minimizing total costs). **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 146, p. 136–144, 2018.

TABATABAEKOLOOR, R; HASHEMI, S. J; TAGHIZADE, G. Vibration damage to kiwifruits during road transportation. **International Journal of Agriculture and Food Science Technology**, v. 4, n. 5, p. 467- 474, 2013.

WASALA, W. M. C. B.; DHARMASENA, D. A. N.; DISSANAYAKE, T. M. R.; THILAKARATHNE, B. M. K. S. Vibration simulation testing of banana bulk transport packaging systems. **Tropical Agricultural Research**, v. 26, n. 2, p. 355–367, 2015.

WEI, X.; XIE, D.; MAO, L.; XU, C.; LUO, Z.; XIA, M.; ZHAO, X.; HAN, X.; LU, W. Excess water loss induced by simulated transport vibration in postharvest kiwifruit. **Scientia Horticulturae**, v. 250, p. 113–120, 2019.

ZHOU, R.; WANG, X.; HU, Y.; ZHANG, G.; YANG, P.; HUANG, B. Reduction in Hami melon (*Cucumis melo* var. *saccharinus*) softening caused by transport vibration by using hot water and shellac coating. **Postharvest Biology and Technology**, v. 110, p. 214–223, 2015.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através do índice de diferença de absorvância (índice DA) não foi possível diferenciar estádios de maturação de mangas ‘Palmer’ até o momento da colheita (170 DAF). No entanto, em estádios mais avançados de maturação a relação deste índice com os atributos de qualidade avaliados (firmeza, sólidos solúveis totais - SST e acidez total titulável- ATT) tende a aumentar, o que abre a possibilidade para utilização dessa técnica principalmente no período pós-colheita.

Com o uso da espectroscopia de reflectância VIS-NIR foi possível desenvolver modelos de regressão pelo método dos mínimos quadrados parciais (PLSR) para determinar firmeza, SST e ATT de mangas ‘Palmer’, com maior precisão para SST, com $R^2 = 86$.

Foi possível identificar respostas espectrais, através da seleção de comprimentos de onda, que caracterizam os atributos firmeza, SST e ATT em frutos de mangas ‘Palmer’, tornando os modelos com um menor número de variáveis de entrada, o que resulta numa maior rapidez de processamento dos dados.

Os modelos de classificação desenvolvidos para diferenciar estádios de maturação de mangas ‘Palmer’ foram considerados satisfatórios, com acurácia de no mínimo 96%.

Através do estudo com as imagens digitais foram determinadas técnicas de pré-processamento, variáveis e algoritmos que resultam numa determinação precisa de atributos de qualidade de mangas ‘Palmer’. Baseado nos coeficientes de determinação, essa abordagem foi considerada mais satisfatória do que com o uso de espectroscopia.

Assim, através dos resultados com imagens há uma contribuição com informações até então não identificadas na literatura sobre esta variedade e possibilita futuramente, desenvolver um aplicativo, onde a partir da foto tirada possa determinar a firmeza e os sólidos solúveis totais de mangas, sem destruí-las. Tecnologia ainda não disponível na região de estudo. Reforça-se a necessidade da realização de testes de validação.

O desenvolvimento e teste do sistema da máquina vibratória foi capaz de simular frequências específicas de vibração de forma satisfatória, permitindo realizar experimentos em laboratório simulando o transporte rodoviário de frutas. Esta máquina pode ser utilizada para testes com outras frutas, principalmente as que dependem da malha rodoviária para sua distribuição.

O uso da máquina para simular a vibração auxiliou na identificação de danos que podem ser causados por vibrações durante o transporte rodoviário de mangas ‘Palmer’. Trabalhos futuros podem ser desenvolvidos no intuito de buscar o aprimoramento do transporte ou das embalagens, com conseqüente redução de perdas quantitativas e qualitativas dos frutos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABARRA, M. S. J.; SERRANO, E. P.; SABULARSE, V. C.; MENDONZA, H. E. T.; ROSARIO, E. J. Determination of Fruit Ripeness Degree of ‘Carabao’ Mango (*Mangifera indica* L.) using Digital Photometry. **Philippine Journal of Science**, v. 147, n. 2, p. 249-253, 2018.

ABBASI, K. S., ANJUM, N., SAMMI, S., MASUD, T.; ALI, S. Effect of coatings and packaging material on the keeping quality of mangoes (*Mangifera indica* L.) stored at low temperature. **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 10, n. 2, p. 129-138, 2011.

AGRORE VENDAS. **Trabalho conjunto entre MAPA e Porto de Salvador agiliza a exportação das frutas do Vale do São Francisco**. 2017. Disponível em: <<https://agrorevenda.com.br/trabalho-conjunto-entre-mapa-e-porto-de-salvador-agiliza-a-exportacao-das-frutas-do-vale-do-sao-francisco/>> Acesso em: 15 jul. 2019.

ALTENDORF, S. **Major tropical fruits market review 2017**. 2019. Rome, FAO. 10 pp. Disponível em: <http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM_MARKETS_MONITORING/Tropical_Fruits/Documents/CA2895EN.pdf> Acesso em: 18 jul. 2019.

ANDRADE, B; GALARÇA, S. P; SIMONE; RUBIRA, G. G; BARBOSA, M. M; FACHINELLO, J. C. Qualidade de pêssegos das cultivares Chimarrita e Maciel sob armazenamento refrigerado em diferentes estádios de maturação de colheita. **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, v. 16, p. 93-100, 2015.

ANDRADE, F. A.; FIGUEIREDO NETO, A.; COSTA, J. D. S.; COSTA, M. S.; SILVA, J. A. B.; ALMEIDA, F. A. C. Efeito da injúria mecânica por impacto na qualidade da manga ‘Tommy Atkins’. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, v. 10, n. 1, p. 68-73, 2016.

AMARASINGHE, D. I.; SONNADARA, D. U. J. Surface colour variation of papaya fruits with maturity. **Proceedings of the Technical Sessions**, v.25, p. 21-28, 2009.

ANSARI, M. D.; NIRALA, A. K. Biospeckle activity measurement of Indian fruits using the methods of cross-correlation and inertia moments. **International Journal for Light and Electron Optics**, v. 124, n. 15, p. 2180-2186, 2013.

AULAR, J.; NATALE, W. Nutrição mineral e qualidade do fruto de algumas frutíferas tropicais: goiabeira, mangueira, bananeira e mamoeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 4, p. 1214-1234, 2013.

BENHURA, C.; BENHURA, M. A. N.; MUCHUWETI, M.; GOMBIRO, P. E. Assessment of the colour of Parinari curatellifolia fruit using an image processing computer software package. **International Journal of Agricultural and Food Research**, v. 2, n. 4, 2014

BETEMPS, D. L. **Qualidade e maturação de frutas avaliadas por meio de métodos não destrutivos**. 2011. 168f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2011.

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**, Volume Especial, p. 306-313, 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2017/18 a 2027/28 projeções de longo prazo**. 2018, 112p.

CEROVIC, Z. G.; MOISE, N.; AGATI, G.; LATOUCHE, G.; GHOZLEN, N. B.; MEYER, S. New portable optical sensors for the assessment of winegrape phenolic maturity based on berry fluorescence. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.21, p.650– 654, 2008.

CLARK, R. N. **Spectroscopy of Rocks and Minerals, and Principles of Spectroscopy**. In: RENCZ, A. N. Manual of Remote Sensing, v. 3, John Wiley and Sons, New York, 1999, p. 3-58.

CLIF, M. A.; TOIVONEN, P. M. A. Sensory and quality characteristics of ‘Ambrosia’ apples in relation to harvest maturity for fruit stored up to eight months. **Postharvest Biology and Technology**, v. 132, p. 145-153, 2017.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE - CNT. **Rodovias**. 2017. Disponível em: <http://pesquisarodovias.cnt.org.br/Pagina/relatorio_por_unidade_federativa>. Acesso em: 26. jun. 2019.

COSTA, A. G. **Identificação da maturação de frutos da macaúba por meio de características óticas**. 2015. 143p. Tese (Doutorado Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

COSTA, J. D. S.; FIGUEIREDO NETO, A.; ALMEIDA, F. A. C.; COSTA, M. S.; BORGES, G. S. C.; SOUSA, K. S. M.; QUIRINO, A. K. R. Componentes principais de parâmetros físico-químicos de mangas cv. Tommy Atkins durante a maturação. **Revista Espacios**, v. 38, n. 16, p. 1-11, 2017.

CUNHA JÚNIOR, L. C.; DURIGAN, M. F. B.; MATTIUZ, B. H.; MARTINS, R. N.; DURIGAN, J. F. Caracterização da curva de maturação de pêssegos ‘Aurora-1’, na região de Jaboticabal-SP. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 3, p. 661-665, 2007.

FADIJI, T.; COETZEEA, C.; CHENC, L.; OGBONNAYA CHUKWUD, O.; OPARA, U. L. Susceptibility of apples to bruising inside ventilated corrugated paperboard packages during simulated transport damage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 118, p. 111-119, 2016.

FAO. 2018. **Developments in bananas and major tropical fruits**. Disponível em: <http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM_MARKETS_MONITORING/Tropical_Fruits/Documents/Developments_in_bananas_and_major_tropical_fruits.pdf> Acesso em: 18 jul. 2019.

FAO. 2019. **Major tropical fruits - Statistical compendium 2017**. Rome. 38 pp. Disponível em: <http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM_MARKETS_MONITORING/Tropical_Fruits/Documents/CA2909EN.pdf> Acesso em: 18 jul. 2019.

FERNANDES, L. S. **Qualidade pós-colheita de tomates submetidos à esforços de compressão e vibrações mecânicas**. 2016. 74f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

GARRIGUES, S.; LA GUARDIA, M. Non- Invasive Analysis of Solid Samples. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 43, p. 161-173, 2013.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. C. **Processamento digital de imagens**. 3 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010. 624p.

GOULART, C.; LOY, F. S.; GALARÇA, S. P.; GIOVANAZ, M. A.; MALGARIM, M. B.; FACHINELLO, J. C. Evolução do índice da e coloração da epiderme de mangas da cultivar Tommy Atkins. **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, v. 14, p. 8-13, 2013.

HAFF, R. P.; SARANWONG, S.; THANAPASE, W.; JANHIRAN, A.; KASEMSUMRAN, S.; KAWANO, S. Automatic image analysis and spot classification for detection of fruit fly infestation in hyperspectral images of mangoes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 86, p. 23-28, 2013.

HFBRASIL. **Anuário 2018 – 2019**. Disponível em: <https://www.hfbrasil.org.br/br/revista/acessar/completo/anuario-2018-2019.aspx> Acesso em: 16. jul. 2019.

JCONLINE. **Frutas do Vale são mais exportadas por portos de Estados vizinhos**. 2017. Disponível em: <<http://jconline.ne10.uol.com.br/canal/economia/pernambuco/noticia/2017/04/16/frutas-do-vale-sao-mais-exportadas-por-portos-de-estados-vizinhos-278503.php>>. Acesso em: 15 jul. 2019.

JHA, S. N.; KINGSLY, A. R. P.; CHOPRA, S. Physical and mechanical properties of mango during growth and storage for determination of maturity. **Journal of Food Engineering**, v.72, p.73-76, 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**, v. 124, p. 152–157, 2014.

JI, W.; KOUTSIDIS, G.; LUO, R.; HUTCHINGS, J.; AKHTAR, M.; MEGIAS, F.; BUTTERWORTH, M. A digital imaging method for measuring banana ripeness. **Color Research & Application**, v. 38, n. 5, p. 364-374, 2013.

JUNG, H. M; PARK, J. G. Effects of Vibration Stress on the Quality of Packaged Apples during Simulated Transport. **Journal of Biosystems Engineering**, v. 37, n.1, p. 44-50, 2012.

KANG, S. P.; EAST, A. R.; TRUJILLO, F. J. Colour vision system evaluation of bicolour fruit: a case study with ‘B74’ mango. **Postharvest Biology and Technology**, v. 49, n. 1, p.77-85. 2008.

KHAIRUNNIZA-BEJO, S.; KAMARUDIN, S. **Chokanan mango sweetness determination using hsb color space**. In: Computational Intelligence, Modelling and Simulation (CIM-SiM), 2011 Third International Conference on. IEEE, p. 216-221, 2011.

KIST, B. B.; SANTOS, C. E.; TREICHEL, M.; SANTOS, C. E. **Anuário Brasileiro da Fruticultura 2018**. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2018, 88p.

LEITE, G. A.; MEDEIROS, E. V.; MENDONÇA, V.; MORAES, P. L. D.; LIMA, L. M.; XAVIER, I. F. Qualidade pós-colheita da banana “Pacovan” comercializada em diferentes estabelecimentos no município de Mossoró-RN. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.5, n.3, p.322-327, 2010.

LACERDA, F. C. **Efeitos das acelerações e frequências durante o transporte do figo ‘roxo de valinhos’**. 2004. 80p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, 2004.

LÉCHAUDEL, M.; JOAS, J. Uma revisão dos fatores pré-colheita que influenciam o crescimento, qualidade e comportamento pós-colheita de frutos de manga. **Brazilian Journal of Plant Physiology**. v. 19, n. 4, p. 287-298, 2007.

LIMA, A.; BAKKER, J. Espectroscopia no infravermelho próximo para amonitorização da perfusão tecidual. **Revista Brasileira de Terapia Intensiva**, v. 23, p. 341-351, 2011.

LIU, F.; FU, S. F.; BI, X. F.; CHEN, F.; LIAO, X. J.; HU, X. S.; WU, J. H. Physico-chemical and antioxidant properties of four mango (*Mangifera indica* L.) cultivars in China. **Food Chemistry**, v. 138, p. 396-405, 2013.

LÓPEZ CAMELO, A. F.; GÓMEZ, P. A. Comparison of color indexes for tomato ripening. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 3, p. 534-537, 2004.

MAKINO, Y.; ISAMI, A.; SUHARA, T.; OSHITA, S.; TSUKADA, M.; ISHIYAMA, R. Non-destructive analysis of internal and external qualities of mango fruits during storage by hyperspectral imaging. **Acta Horticulturae**, v. 1011, p. 443-450, 2013.

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

MELO, G. R. **Automação do processo de classificação de manga (*Mangifera indica* Linn) cv. Palmer por meio dos descritores cor e calibre**. 2015. 80f. Tese (Doutorado em Biometria e Estatística Aplicada) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2015.

MODESTO, J. H. **Produtividade, sazonalidade e análises tecnológicas de frutos de cultivares de manga em condições subtropicais**. 2013. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia. Horticultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu – SP, 2013.

MOUCO, M. A. C.; LIMA NETO, F. P. **A manga no Vale do São Francisco**. 2018. Disponível em: <<https://www.todafruta.com.br/wp-content/uploads/2018/06/MANGA.pdf>> Acesso em: 22 jul. 2019.

MUNAWA, A. A.; HORSTEN, D; WEGENER, J. K; PAWELZIK, E; MORLEIN, D. Rapid and non-destructive prediction of mango quality attributes using Fourier transform near infrared

spectroscopy and chemometrics. **Engineering in Agriculture, Environment and Food**, p. 1-8, 2016.

NAGLE, M.; INTANI, K.; ROMANO, G.; MAHAYOTHEE, B.; SARDSUD, V.; MÜLLHER, J. Determination of surface color of 'all yellow' mango cultivars using computer vision. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 9, n. 1, p. 42-50, 2016.

NANDI, C. S.; TUDU, B.; KOLEY, C. A machine vision-based maturity prediction system for sorting of harvested mangoes. **IEEE Transactions on Instrumentation and measurement**, v. 63, n. 7, p. 1722-1730, 2014.

NASCIMENTO, P. A. M. **Determinação de sólidos solúveis e firmeza em frutos íntegros de pessegueiro por meio da espectroscopia do infravermelho próximo (NIR)**. 2015. 65f. Dissertação (Área de concentração: Ciência dos Alimentos) Universidade Estadual Paulista "Júlio De Mesquita Filho", Araraquara, 2015.

NARENDRA, V.G.; HAREESH, K.S. Quality inspection and grading of agricultural and food products by computer vision – A review. **International Journal of Computer Applications**, v. 2, n.1, p. 43-65, 2010.

NOFERINI, M.; FIORI, G.; COSTA, G. Un nuovo índice di maturazione per stabilire la raccolta Ed orientare Il consumatore verso la qualità. **Revista Frutticoltura**, p.30-37, 2009.

NYASORDZI, J; FRIEDMANA, H; SCHMILOVITCHB, Z; IGNAT, T; WEKSLER, A; ROT, I; LURIEA, S. Utilizing the IAD index to determine internal quality attributes of apples at harvest and after storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 77, p. 80-86, 2013.

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**, v. 62, p. 267–274, 2011.

PANDEY, R.; GAMIT, N.; NAIK, S. **Non-destructive quality grading of mango (*Mangifera Indica* L) based on CIELab colour model and size**. In: Advanced Communication Control and Computing Technologies (ICACCCT), 2014 International Conference on. IEEE, p. 1246-1251, 2014.

PEREIRA, L. A. G; FERREIRA, W. R. Comercialização, logística de transportes e exportações do setor de fruticultura no projeto Jaíba. **GeoTextos**, v. 12, n. 1, p. 183- 206, 2016.

PEREIRA, L. F. S. **Espectroscopia no NIR e processamento de imagens digitais para classificação de mamão papaia (*Carica papaya* L.) Golden**. 2017. 80f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Alimentos, Campinas, 2017.

PU, Y. Y.; SUN, D. W. Vis-NIR hyperspectral imaging in visualizing moisture distribution of mango slices during microwave-vacuum drying. **Food Chemistry**, v. 188, p. 271-278, 2015.

RAZALI, M. H.; ISMAIL, W.; ISHAK, W.; RAMLI, A.; SULAIMAN, M., Modeling of oil palm fruit maturity for the development of an outdoor vision system. **International Journal of Food Engineering**. v.4, n.3, 2008.

RUIZ-ALTISENTA, M. RUIZ-GARCIA, L.; MOREDA, G. P.; LU, R.; SANCHEZ, N. H.; CORREA, E. C.; DIEZMA, B.; NICOLAI, B.; RAMOS, J. G. Sensors for product characterization and quality of specialty crops-A review. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 74, n. 2, 176-194, 2010.

RUNGPICHAYAPICHET, P.; NAGLE, M.; YUWANBUN, P.; KHUWIJITJARU, P.; MAHAYOTHEE, B.; MULLER, J. Prediction mapping of physicochemical properties in mango by hyperspectral imaging. **Biosystems engineering**, v. 159, P. 109-120, 2017.

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

SAEED, O. M. B.; SANKARAN, S.; SHARIFF, A. R. M.; SHAFRI, H. Z. M.; EHSANI, R.; ALFATNI, M. S.; HAZIR, M. H. M. Classification of oil palm fresh fruit bunches based on their maturity using portable four-band sensor system. **Computers and Electronics in Agriculture**. v. 82, p. 5560, 2012.

SALUNKHE, R., P.; PATIL, A. A. **Image processing for mango ripening stage detection: RGB and HSV method**. In: Image Information Processing (ICIIP), 2015 Third International Conference on. IEEE, p. 362-365, 2015.

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

SANTOS NETO, J. P; ASSIS, M. W. D; CASAGRANDE, I. P; CUNHA JÚNIOR, 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- 80, 2017.

SARANWONG, S.; HAFF, R. P.; THANAPASE, W.; JANHIRAN, A.; KASEMSUMRAN, S.; KAWANO, S. A feasibility study using simplified near infrared imaging to detect fruit fly larvae in intact fruit. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v. 19, p. 55-60, 2011.

SHAH RIZAM, M. S. B.; FARAH YASMIN, A. R.; AHMAD IHSAN, M. Y.; SHAZANA, K.. Non-destructive watermelon ripeness determination using image processing and artificial neural network (ANN). **International Journal of Electrical and Computer Engineering**, v. 4, n. 6, 2009.

SOLEIMANI, B; AHMADI, E. Evaluation and analysis of vibration during fruit transport as a function of road conditions, suspension system and travel speeds. **Engineering in Agriculture, Environment and Food**, p. 1- 7, 2014.

SOUSA, F. A.; ROCHA, R. H. C.; SILVA, H. S. Manga “Tommy Atkins” submetida a injúrias mecânicas pós-colheita. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 8, n. 5, p. 14-21. 2013.

SOUZA, J. M. A.; LEONEL, S.; MODESTO, J. H.; FERRAZ, R. A.; SILVA, M. S.; BOLFARINI, A. C. B. Performance of mango cultivars under subtropical conditions in the state of São Paulo. **Bioscience Journal**, v. 34, n. 1, p. 1-11, 2018.

SPADONI, A.; CAMELDI, I.; NOFERINI, M.; BONORA, E.; COSTA, G.; MARI, M. An innovative use of DA-meter for peach fruit postharvest management. **Scientia Horticulturae**, v. 201, p.140-144, 2016.

TABATABAEKOLOOR, R; HASHEMI, S. J; TAGHIZADE, G. Vibration damage to kiwifruits during road transportation. **International Journal of Agriculture and Food Science Technology**, v. 4, n. 5, p. 467- 474, 2013.

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

TEOH, C. C.; SYAIFUDIN, A. R. M. Image processing and analysis techniques for estimating weight of Chokanan mangoes. **Journal of Tropical Agriculture and Food Science**, v. 35, n. 1, p. 183, 2007.

THEANJUMPOL, P.; SELF, G.; RITTIRON, R.; PANKASEMSU, T.; SARDSUD, V. Selecting variables for near infrared spectroscopy (NIRS) evaluation of mango fruit quality. **Journal of Agricultural Science**, v. 5, n. 7, 2013.

TOIVONEN, P. M. A.; HAMPSON, C. R. Relationship of IAD index to internal quality attributes of apples treated with 1-methylcyclopropene and stored in air or controlled atmospheres. **Postharvest Biology and Technology**, v. 91, p. 90-95, 2014.

TRINDADE, D. C. G.; LIMA, M. A. C.; ASSIS, J. S. Ação do 1-metilciclopropeno na conservação pós-colheita de manga 'Palmer' em diferentes estádios de maturação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 9, p. 753-762, 2015.

VELEZ RIVERA, N.; BLASCO, N.; CHANONA-P EREZ, J.; CALDER ON-OMI'NGUEZ, G.; DE JESU' SPEREA-FLORES, M.; ARZATE-VAZQUEZ, I. Computer vision system applied to classification of "Manila" mangoes during ripening process. **Food and Bioprocess Technology**, v. 4, p. 1183-1194, 2014.

WANNABUSSAPAWICH, B.; SERAYPHEAP, K. Effects of putrescine treatment on the quality attributes and antioxidantactivities of 'Nam Dok Mai No.4' mango fruit during storage. **Scientia Horticulturae**, v. 233, p. 22–28, 2018.

WU, D.; SUN, D. Colour measurements by computer vision for food quality control – A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 29, n. 1, p. 5-20, 2013.

YAHIA, E. M. Mango (*Mangifera indica* L.). In: In: Yahia, E.M. (Ed.), **Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits**, Cocona to Mango, v. 3, p. 492–565, 2011.

YAHAYA, O. K. M.; JAFRI, M. Z. M.; AZIZ, A. A.; OMAR, A. F. Determining Sala mango qualities with the use of RGB images captured by a mobile phone camera. In: **AIP Conference Proceedings**. AIP Publishing, p. 060003, 2015. DOI: 10.1063/1.4915190

YOSSY, E. H.; PRANATA, J.; WIJAYA, T.; HERMAWAN, H.; BUDIARTO, W. MANGO Fruit Sortation System using Neural Network and Computer Vision. **Procedia Computer Science**, v. 116, p. 596-603, 2017.

ZDUNEK, A.; ADAMIAK, A.; PIECZYWEK, P. M.; KURNDA, A. The biospeckle method for the investigation of agricultural crops: A review. **Optics and Lasers in Engineering**, v. 52, p. 276-285, 2014.

ZHENG, H.; LU, H. A least-squares support vector machine (LS-SVM) based on fractal analysis and CIELab parameters for the detection of browning degree on mango (*Mangifera indica* L.). **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 83, p. 47-51, 2012.

ZIOSI, V.; NOFERINI, M.; FIORI, G.; TADIELLO, A.; TRAINOTTI, L.; CASADORO, G.; COSTA, G. A new index based on VIS spectroscopy to characterize the progression of ripening in peach fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v 49, p. 319-329, 2008.

APÊNDICES

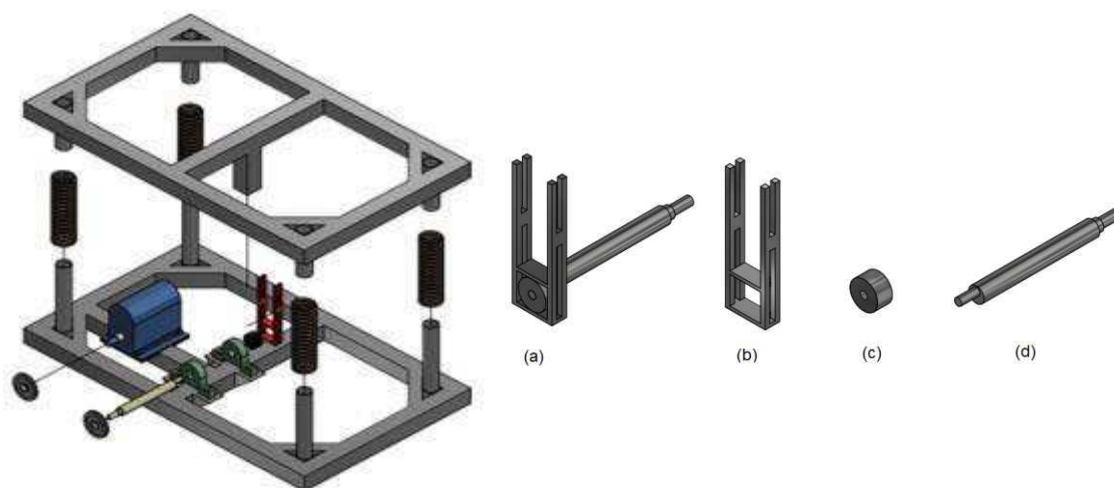
Apêndice A

Lista de material utilizado para a confecção da máquina:

- 9000 mm em tubo quadrado aço SAE-1045 de lado de 50 mm;
- 400 mm em tubo aço SAE-1020, diâmetro de 31,75 mm e parede de 1,2 mm;
- 300 mm em tubo aço SAE-1020, diâmetro de 25,4 mm e parede de 1,5 mm;
- 500 mm em barra chata aço SAE-1045, espessura 5 mm e largura de 50 mm;
- 400 mm de barra redonda em aço SAE 1045 no diâmetro de 50 mm;
- 4 molas (altura de 220 mm, diâmetro interno 36 mm, diâmetro externo 50,5 mm);
- 2 polias no material de alumínio fundido;
- 1 correia em V no material de borracha;
- 8 parafusos M12;
- 8 parafusos M8;
- 1 chapa de madeira compensada de 65 cm por 110 cm.

Apêndice B

Componentes do sistema de vibração (a) Came (b) Garfo escocês (c) Rolamento (d) Eixo.



Apêndice C

Motor conectado ao inversor de frequência



Apêndice D

Desenho esquemático com partes da máquina de vibração

