



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

Bruna Parente de Carvalho Pires

**Fatores reguladores e método para o monitoramento de  
desordens fisiológicas em mangas produzidas no Vale do São  
Francisco**

Petrolina  
2023

**Bruna Parente de Carvalho Pires**

**Fatores reguladores e método para o monitoramento de  
desordens fisiológicas em mangas produzidas no Vale do São  
Francisco**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal do Campus de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Vale do São Francisco, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Agronomia – Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Tonetto de Freitas

Coorientadora: Dra. Luana Ferreira dos Santos

Petrolina  
2023

Pires, Bruna Parente de Carvalho

P667f Fatores reguladores e método para o monitoramento de desordens fisiológicas em mangas produzidas no Vale do São Francisco/Bruna Parente de Carvalho Pires. – Petrolina-PE, 2023.

76 f.: il.; 29 cm

Dissertação (Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Ciências Agrárias, Petrolina-PE, 2023.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Tonetto de Freitas.

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

CDD 634.44

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Integrado de Biblioteca  
SIBI/UNIVASF

Bibliotecário: Fábio Santiago

CRB5/1785

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

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

Bruna Parente de Carvalho Pires

**FATORES REGULADORES E MÉTODO PARA O**  
**MONITORAMENTO DE DESORDENS FISIOLÓGICAS EM**  
**MANGAS PRODUZIDAS NO VALE DO SÃO FRANCISCO**

Dissertação

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

Aprovada em: 28 de Agosto de 2023.

## **Banca Examinadora**

---

(Dr. Sergio Tonetto de Freitas, Embrapa Semiárido, Orientador).

---

(Dr<sup>a</sup>. Luana Ferreira dos Santos, Embrapa Semiárido Coorientadora).

---

(Dr<sup>a</sup>. Karla dos Santos Melo de Sousa, UNIVASF, Membro externo).

---

(Dr. Vespasiano Borges de Paiva Neto, UNIVASF, Membro interno).

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, porque com braço forte me sustentou e com mão poderosa me guiou a essa conquista.

Dedico minha vitória à minha mãe Cely Parente, que nunca mediu esforços para que eu pudesse realizar meus sonhos e sempre será o grande amor de minha vida. A meu pai, Antônio Nilvan, (*in memoriam*), sei que sempre me acompanhou nos piores dias e olhou por mim. Espero que esteja com orgulho desta conquista.

Às minhas irmãs Bianca e Brena, que sempre me apoiaram em toda minha jornada.

À minha namorada Mara, que sempre foi meu abraço forte nos dias ruins e sempre teve uma inesgotável paciência quando precisei me ausentar por conta dos estudos.

Ao meu orientador Dr. Sérgio Tonetto de Freitas pela confiança, pela paciência e por prontamente me ajudar sempre que o procurei.

À minha coorientadora Dra. Luana Ferreira dos Santos pela grande atenção dispensada que se tornou essencial para que o projeto fosse concluído.

A todos os professores e funcionários do Programa de Pós-graduação Produção Vegetal pela contribuição em minha formação.

Aos meus colegas do Laboratório de Fisiologia Pós-colheita da EMBRAPA Semiárido, em especial a Gessica, Taís, Jasciane, Tassiane, Tiffany, João e Joanderson pela ajuda nos trabalhos e por terem tornado a caminhada menos árdua e mais satisfatória.

A Joveniano e Danielly e todos os funcionários da EMBRAPA que me ajudaram de forma direta e indireta.

Muito obrigada!

## RESUMO

Apesar da importância da mangicultura do Vale do São Francisco, esta cultura ainda apresenta grandes limitações como a alta incidência de desordens fisiológicas conhecidas como nariz mole, semente gelatinosa, tecido esponjoso e corte negro, as quais resultam em elevadas taxas de perdas de frutas após a colheita. Apesar da importância, pouco é conhecido sobre os mecanismos reguladores, assim como não existem métodos precisos de monitoramento. Diante disso, esse estudo tem como objetivos a identificação de possíveis indicadores da susceptibilidade das frutas às diferentes desordens, bem como desenvolver modelos de classificação para o monitoramento e predição da incidência de desordens em mangas produzidas no Vale do São Francisco. Para isso, no primeiro experimento 400 mangas 'Keitt' e 'Tommy Atkins' foram colhidas na maturação fisiológica utilizada comercialmente em pomares com histórico de alta incidência das desordens fisiológicas semente gelatinosa, nariz mole, tecido esponjoso e corte negro. Após a colheita, as frutas foram transportadas para o Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-colheita da Embrapa Semiárido, Petrolina, PE, Brasil, onde foram avaliadas para cor da casca e polpa, firmeza de polpa, assim como para os níveis de macro e micronutrientes totais. As sementes de cada fruta foram submetidas ao teste de germinação. No segundo experimento, 400 mangas 'Tommy Atkins' colhidas em pomar com histórico de alta incidência de corte negro foram utilizadas para desenvolver modelos de classificação, visando utilizar a espectroscopia Vis-NIR para prever na colheita e identificar nas frutas maduras a incidência desta desordem. Os resultados do primeiro experimento mostraram que, frutas com sintomas internos de desordens fisiológicas diferem de frutas sadias comparando-se parâmetros como cor da epiderme, cor da polpa, sólidos solúveis, acidez titulável e firmeza. Para as avaliações nutricionais, apenas os teores de potássio (K), magnésio (Mg), fósforo (P), zinco (Zn), manganês (Mn) e boro (B) apresentaram diferenças significativas. No segundo experimento, os resultados mostraram que modelos de classificação podem ser utilizados para predição da desordem corte negro com acurácia acima de 60% para frutas na colheita e valores maiores de 70% para frutas na maturação de consumo. Conclui-se que parâmetros físicos e químicos podem auxiliar na detecção e entendimento acerca dos possíveis mecanismos reguladores da incidência de desordens fisiológicas, assim como modelos de classificação podem ser ferramentas importantes para a previsão e identificação de mangas com corte negro, evitando a comercialização de frutas impróprias para o consumo.

**Palavras-chave:** *Mangifera indica*; Vis-NIR; nutrição.

## ABSTRACT

Despite the importance of mango farming in the São Francisco Valley, this crop still has major limitations such as the high incidence of physiological disorders known as soft nose, jelly seed, spongy tissue and black flesh, which result in high rates of fruit loss after harvest. In addition, little is known about the mechanisms involved and possible methods to monitor the incidence of these disorders in mangos. Therefore, this study aims to identify possible quality indexes of fruit susceptibility to different disorders, as well as to develop classification models for monitoring and predicting the incidence of disorders in mangos produced in the São Francisco Valley. In the first experiment, 400 'Keitt' and 'Tommy Atkins' mangos were harvested at the commercial physiological maturity in orchards with a history of high incidence of the physiological disorders known as soft nose, jelly seed, spongy tissue and black flesh. After harvest, the fruit were transported to the Postharvest Physiology and Technology Laboratory at the Tropical Semi-arid Embrapa, Petrolina, PE, Brazil, where they were evaluated for skin and pulp color, flesh firmness, as well as total macro and micronutrient levels. The seeds of each fruit were subjected to the germination test. In the second experiment, 400 'Tommy Atkins' mangos harvested in an orchard with a history of high incidence of black flesh were used to develop classification models, aiming to use Vis-NIR spectroscopy to predict at harvest and identify the incidence of this disorder in ready-to-eat fruit. The results of the first experiment showed that fruit with internal symptoms of physiological disorders differ from healthy fruit, when comparing parameters such as skin color, pulp color, soluble solids, titratable acidity and flesh firmness. For nutritional assessments, only the levels of potassium (K), magnesium (Mg), phosphorus (P), zinc (Zn), manganese (Mn) and boron (B) showed significant differences. In the second experiment, the results showed that classification models can be used to predict black flesh disorder with accuracy above 60% for fruit at harvest and values greater than 70% for fruit at the ready-to-eat ripening stage. Therefore, physical and chemical parameters can assist in the detection and understanding of possible mechanisms regulating the incidence of physiological disorders, as well as classification models can be important tools for predicting and identifying black flesh in mangos, avoiding the commercialization of fruit unfit for consumption.

**Key-words:** *Mangifera indica*; Vis-NIR; nutrition.



## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

- Figura 1.** Mangas 'Keitt' apresentando sintomas de nariz mole (A), semente gelatinosa (B), tecido esponjoso (C) e corte negro (D).....34
- Figura 2.** Porcentagens de mangas sadias ou com sintomas das desordens fisiológicas internas conhecidas como corte negro, nariz mole, semente gelatinosa e tecido esponjoso em manga 'Keitt' após o armazenamento a 9°C.....37
- Figura 3.** Luminosidade (L) (A), cromaticidade (C) (B) e ângulo hue da casca (h) (C) de mangas 'Keitt' avaliadas no momento da colheita. As variáveis foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ) e as medianas comparadas pelo teste Dunn ( $p < 0,05$ ). Ns- não significativo a  $p < 0,05$ .....38
- Figura 4.** Luminosidade (Lc) (A), cromaticidade (Cc) (B) e ângulo hue (h) (C) da casca da casca de mangas 'Keitt' avaliadas no após o armazenamento a 9°C. As variáveis foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ) e as medianas comparadas pelo teste Dunn ( $p < 0,05$ ). CN-corte negro, NM- nariz mole, SG- semente gelatinosa e TE- tecido esponjoso. Letras distintas representam médias significativamente diferentes. Ns- não significativo a  $p < 0,05$ .....38
- Figura 5.** Luminosidade (Lp) (A), cromaticidade (Cp) (B), ângulo hue (hp) (C) e firmeza da polpa (D) da casca de mangas 'Keitt' avaliadas no após o armazenamento a 9°C. CN-corte negro, NM- nariz mole, SG- semente gelatinosa e TE- tecido esponjoso. As variáveis foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ) e as medianas comparadas pelo teste Dunn ( $p < 0,05$ ). Letras distintas representam médias significativamente diferentes. Ns- não significativo a  $p < 0,05$ .....39
- Figura 6.** Teores de sólidos solúveis totais (SS) (A), acidez titulável (AT)(B), ácido ascórbico (C) e carotenoides totais (D) de mangas 'Keitt' avaliadas no após o armazenamento a 9°C. CN-corte negro, NM- nariz mole, SG- semente gelatinosa e TE- tecido esponjoso. As variáveis foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ) e as medianas comparadas pelo

teste Dunn ( $p < 0,05$ ). Letras distintas representam médias significativamente diferentes. Ns- não significativo a  $p < 0,05$ .....40

**Figura 7.** Teores dos macronutrientes N (A), Ca (B), P (C) e Na (D) em mangas 'Keitt' avaliadas após o armazenamento a 9°C. CN-corte negro, NM- nariz mole, SG- semente gelatinosa e TE- tecido esponjoso. As variáveis foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ) e as medianas comparadas pelo teste Dunn ( $p < 0,05$ ). Ns- não significativo a  $p < 0,05$ .....41

**Figura 8.** Teores dos macronutrientes K (A) e Mg (B) em mangas 'Keitt' avaliadas após o armazenamento a 9°C. CN-corte negro, NM- nariz mole, SG- semente gelatinosa e TE- tecido esponjoso. As variáveis foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ) e as medianas comparadas pelo teste Dunn ( $p < 0,05$ ). Letras distintas representam médias significativamente diferentes.....42

**Figura 9.** Teores dos micronutrientes B (A), Mn (B), Cu (C), Zn (D), Fe (E) em mangas 'Keitt' avaliadas após o armazenamento a 9°C. CN-corte negro, NM- nariz mole, SG- semente gelatinosa e TE- tecido esponjoso. As variáveis foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ) e as medianas comparadas pelo teste Dunn ( $p < 0,05$ ). Ns- não significativo a  $p < 0,05$ .....43

**Figura 10.** Relações Ca/Mg, Ca/B, K/Ca, K/Mg, N/B e N/Ca em mangas 'Keitt' avaliadas após o armazenamento a 9°C. CN-corte negro, NM- nariz mole, SG- semente gelatinosa e TE- tecido esponjoso. As variáveis foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ) e as medianas comparadas pelo teste Dunn ( $p < 0,05$ ). Ns- não significativo a  $p < 0,05$ .....44

**Figura 11.** Porcentagens de frutas sadias e frutas com sintomas das desordens fisiológicas conhecidas como corte negro, nariz mole, semente gelatinosa e tecido esponjoso em manga 'Tommy Atkins' após o armazenamento a 9°C....45

**Figura 12.** Luminosidade (L) (A), cromaticidade (C)(B) e ângulo hue da casca (h) (C) de mangas 'Tommy Atkins' avaliadas no momento da colheita. CN-corte negro, SG- semente gelatinosa e TE- tecido esponjoso. As variáveis foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ) e as

medianas comparadas pelo teste Dunn ( $p < 0,05$ ). Ns- não significativo a  $p < 0,05$ .....47

**Figura 13.** Luminosidade (Lc) (A), cromaticidade (Cc) (B), ângulo hue (hc) (C) e firmeza da polpa da casca de mangas ‘Tommy Atkins’ avaliadas no após o armazenamento a 9°C. CN-corte negro, SG- semente gelatinosa e TE- tecido esponjoso. As variáveis foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskall-Wallis ( $p < 0,05$ ) e as medianas comparadas pelo teste Dunn ( $p < 0,05$ ). Letras distintas representam médias significativamente diferentes. Ns- não significativo a  $p < 0,05$ .....47

**Figura 14.** Luminosidade (Lp) (A), cromaticidade (Cp) (B), ângulo hue (hp) (C) e firmeza da polpa da casca (D) de ‘Tommy Atkins’ mangas avaliadas no após o armazenamento a 9°C. As variáveis foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskall-Wallis ( $p < 0,05$ ) e as medianas comparadas pelo teste Dunn ( $p < 0,05$ ). Letras distintas representam médias significativamente diferentes.....48

**Figura 15.** Teores de sólidos solúveis totais (SS), acidez titulável (AT), ácido ascórbico e carotenoides totais de mangas ‘Tommy Atkins’ avaliadas no após o armazenamento a 9°C. CN-corte negro, SG- semente gelatinosa e TE- tecido esponjoso. As variáveis foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskall-Wallis ( $p < 0,05$ ) e as medianas comparadas pelo teste Dunn ( $p < 0,05$ ). Letras distintas representam médias significativamente diferentes. Ns- não significativo a  $p < 0,05$ .....49

**Figura 16.** Teores Ca (A), K (B), Mg (C), N (D), S (E) e Na (F) de mangas ‘Tommy Atkins’ avaliadas no após o armazenamento a 9°C. CN-corte negro, SG- semente gelatinosa e TE- tecido esponjoso. As variáveis foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskall-Wallis ( $p < 0,05$ ) e as medianas comparadas pelo teste Dunn ( $p < 0,05$ ). Letras distintas representam médias significativamente diferentes. Ns- não significativo a  $p < 0,05$ .....51

**Figura 17.** Teores Fe (A), Cu (B), Mn (C), Zn (D), P (E), e B (F) de mangas ‘Tommy Atkins’ avaliadas no após o armazenamento a 9°C. CN-corte negro, SG- semente gelatinosa e TE- tecido esponjoso. As variáveis foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskall-Wallis ( $p < 0,05$ ) e as medianas comparadas pelo teste Dunn ( $p < 0,05$ ). Letras distintas representam médias significativamente

|  |    |
|--|----|
| diferentes. Ns- não significativo a  |    |
| p<0,05.....  | 52 |
| <b>Figura 18.</b> Relações Ca/Mg (A), Ca/B (B), K/Ca (C), K/Mg (D), N/B (E) e N/Ca (F) em mangas ‘Tommy Atkins’ avaliadas após o armazenamento a 9°C. CN- corte negro, SG- semente gelatinosa e TE- tecido esponjoso. As variáveis foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (p<0,05) e as medianas comparadas pelo teste Dunn (p<0,05). Ns- não significativo a p<0,05..... | 53 |

## CAPÍTULO II

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1.</b> Espectrômetro portátil F-750 utilizado para a aquisição dos dados espectrais na região do visível e infravermelho próximo (A). Marcação nas frutas do local das leituras e obtenção de dados espectrais (B).....  | 64 |
| <b>Figura 2.</b> Porcentagem mangas 'Tommy Atkins' sem sintomas (sadia) e com severidade média (1-30% da polpa apresentando sintomas) e alta severidade (31-100% da polpa apresentando sintomas) de corte negro após atingir a maturação de consumo com firmeza de polpa ≤15N..... | 66 |
| <b>Figura 3.</b> Resultado dos modelos de classificação Logistic (A), Bagging (B), Random Forest (C) para área roc para a fase de predição para mangas ‘Tommy Atkins’ saudáveis coletadas na colheita.....   | 69 |
| <b>Figura 4.</b> Resultado dos modelos de classificação Logistic (A), Bagging (B), Random Forest (C) para área roc para a fase de predição para mangas ‘Tommy Atkins’ com dano médio da desordem corte negro coletadas na colheita.....  | 69 |
| <b>Figura 5.</b> Resultado dos modelos de classificação Logistic (A), Bagging (B), Random Forest (C) para área roc para a fase de predição para mangas ‘Tommy Atkins’ com dano alto da desordem corte negro coletadas na colheita.....   | 70 |
| <b>Figura 6.</b> Resultado dos modelos de classificação Logistic (A), Bagging (B), Random Forest (C) para área roc para a fase de predição para mangas ‘Tommy Atkins’ saudáveis coletadas na pós colheita.....   | 72 |
| <b>Figura 7.</b> Resultado dos modelos de classificação Logistic (A), Bagging (B), Random Forest (C) para área roc para a fase de predição para mangas ‘Tommy Atkins’ com dano médio da desordem corte negro coletadas na pós colheita.....  | 72 |

**Figura 8.** Resultado dos modelos de classificação Logistic (A), Bagging (B), Random Forest (C) para área roc para a fase de predição para mangas ‘Tommy Atkins’ com dano alto da desordem corte negro coletadas na pós colheita.....73

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1.** Resultados do modelo de classificação na calibração para mangas ‘Tommy Atkins’ saudáveis ou com média e alta severidade de danos causados pela desordem fisiológica corte negro. Os dados espectrais usados correspondem a faixa entre 402 a 1119 nm, coletados na colheita.....67

**Tabela 2.** Resultados do modelo de classificação na predição para mangas ‘Tommy Atkins’ saudáveis ou com média e alta severidade de danos causados pela desordem fisiológica corte negro. Os dados espectrais usados correspondem a faixa entre 402 a 1119 nm, coletados na colheita.....68

**Tabela 3.** Resultados do modelo de classificação na calibração e predição para mangas ‘Tommy Atkins’ saudáveis ou com média e alta severidade de danos causados pela desordem fisiológica corte negro. Os dados espectrais usados correspondem a faixa entre 402 a 1119 nm, coletados na pós colheita.....71

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....   | 16 |
| <b>2. OBJETIVO GERAL</b> .....   | 17 |
| <b>2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....   | 17 |
| <b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....  | 18 |
| 3.1 Mangicultura.....  | 18 |
| 3.2 Aspectos gerais de qualidade .....   | 19 |
| 3.3 Desordens fisiológicas .....   | 19 |
| 3.3.1 Tecido esponjoso .....   | 20 |
| 3.3.2 Semente gelatinosa.....  | 20 |
| 3.3.3 Corte negro .....  | 21 |
| 3.3.4 Nariz mole .....   | 21 |
| 3.4. Fatores possivelmente relacionados a incidência de desordens fisiológicas em mangas .....                       | 21 |
| 3.4.1. Fatores físicos e químicos.....   | 21 |
| 3.4.2. Fatores nutricionais .....  | 22 |
| 3.5. Métodos para previsão e identificação de desordens fisiológicas em mangas ..                                    | 23 |
| 3.6 Espectroscopia na região do visível e infravermelho próximo (VIS/NIR) .....                                      | 23 |
| <b>4. REFERÊNCIAS</b> .....  | 25 |
| <b>CAPÍTULO I. Fatores reguladores de desordens fisiológicas em mangas produzidas no Vale do São Francisco</b> ..... | 30 |
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....  | 31 |
| <b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....  | 32 |
| <b>2.1 ANÁLISES</b> .....  | 34 |
| 2.1.1 Análises físicas.....  | 34 |
| 2.1.2 Análises químicas e bioquímicas .....  | 35 |
| 2.1.3 Germinação de Sementes.....  | 36 |
| 2.2 Análise estatística e software .....   | 36 |
| <b>3 RESULTADOS</b> .....  | 36 |
| 3.1 Parâmetros físico-químicos, bioquímicos e nutricionais em mangas da cultivar 'Keitt' .....                       | 36 |
| 3.2 Germinação de sementes de mangas 'Keitt' .....   | 45 |

|   |    |
|---|----|
| 3.3 Parâmetros físico-químicos, bioquímicos e nutricionais em mangas da cultivar 'Tommy Atkins' .....   | 45 |
| 3.4 Germinação de sementes de mangas 'Tommy Atkins' .....   | 54 |
| <b>4. DISCUSSÃO</b> .....   | 54 |
| 4.1 Incidência de desordens fisiológicas em mangas 'Keitt' e 'Tommy Atkins' .....   | 54 |
| 4.2 Parâmetros bioquímicos em mangas 'Keitt' e 'Tommy Atkins' .....   | 54 |
| 4.3 Parâmetros físicos e químicos em mangas 'Keitt' e 'Tommy Atkins' .....  | 55 |
| 4.4 Fatores nutricionais relacionados a desordens fisiológicas em mangas 'Keitt' e 'Tommy Atkins' .....   | 56 |
| 4.5 Germinação de sementes de mangas 'Tommy Atkins' e 'Keitt' .....   | 58 |
| <b>5. CONCLUSÃO</b> .....   | 58 |
| <b>6. REFERÊNCIAS</b> .....   | 59 |
| <b>CAPÍTULO II. Calibração e validação de um espectrômetro VIS-NIR portátil para o monitoramento da incidência de corte negro em mangas 'Tommy Atkins' produzidas no Vale do São Francisco.</b> ..... | 61 |
| <b>INTRODUÇÃO</b> .....   | 62 |
| <b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....   | 64 |
| 2.1 Material vegetal .....  | 64 |
| 2.2 Coleta de dados espectrais .....  | 64 |
| 2.3 Classificação das frutas .....  | 65 |
| 2.4 Pré processamento dos espectros, calibração e validação .....   | 65 |
| <b>3. RESULTADOS</b> .....  | 66 |
| 3.1 Incidência da desordem corte negro .....  | 66 |
| 3.2 Desenvolvimento de modelos de detecção de desordens na colheita .....   | 66 |
| 3.3 Desenvolvimento de modelos de detecção de desordens na pós-colheita .....   | 71 |
| <b>4. DISCUSSÃO</b> .....   | 74 |
| <b>5. CONCLUSÃO</b> .....   | 75 |
| <b>6. REFERÊNCIAS</b> .....   | 76 |

## 1. INTRODUÇÃO

A manga (*Mangifera indica* L.) é uma das frutas tropicais mais consumidas no mundo, com aroma e sabor atraente e alto valor nutricional (NTSOANE et al., 2019). É uma espécie originária da Índia, que se popularizou o mundo apresentando-se como uma cultura de elevada importância econômica nos mercados nacional e internacional. O Brasil é o sétimo maior produtor de manga no mundo, apresentando um aumento de 6,6% na quantidade de pomares colhidos, totalizando 71,8 mil hectares e produção de 1,57 milhão de toneladas (KIST et al., 2022). No país, o Nordeste é a maior região produtora, correspondendo a uma média de 77% da produção nacional (IBGE, 2020). Esta região, segundo Mouco et al. (2010), é favorecida pelas potencialidades dos recursos naturais e pelos investimentos públicos e privados nos projetos de irrigação. Entre as principais variedades produzidas nesta região estão a Tommy Atkins, Palmer, Kent e Keitt.

A variedade Keitt tem posição de destaque nos mercados interno e externo, assim como elevada demanda devido sua versatilidade, possibilitando ser utilizada tanto para o consumo *in natura* quanto para a indústria de processamento (CEREZAL et al, 1995; SIQUEIRA et al, 1988; MOGOLLÓN et al., 2020). A variedade Tommy Atkins é a mais produzida e possui a maior participação no volume comercializado de manga no mundo, devido principalmente à sua coloração intensa, produções elevadas e resistência a doenças e ao transporte à longas distâncias (GAZZOLA, 2020).

Apesar da importância da mangicultura do Vale do São Francisco, esta cultura ainda apresenta grandes limitações como a alta incidência de desordens fisiológicas nas frutas após a colheita. Estas desordens incluem nariz mole, semente de gelatinosa, tecido esponjoso e corte negro, as quais causam danos na polpa tornando as frutas impróprias para o consumo. Essas desordens fisiológicas são de difícil detecção, sendo na maioria das vezes constatado apenas pelo consumidor final no momento do consumo. Diferentes tecnologias estão presentes nos vários equipamentos e sensores utilizados nas avaliações não destrutivas das frutas, sendo as mais relatadas na literatura o uso de colorimetria, imagens espectrais na faixa do visível (VIS) e infravermelho próximo, (*Near infrared*, NIR) (BETEMPS, 2021).

Diante do exposto, a incidência de desordens fisiológicas compromete a qualidade de consumo de mangas produzidas no Vale do São Francisco, demandando estudos que tragam possíveis soluções para redução das perdas,



através da caracterização e identificação de possíveis reguladores destas desordens fisiológicas em mangas, bem como o desenvolvimento de métodos de monitoramento para a previsão e detecção nas frutas. Dentre estes métodos, a utilização de técnicas de detecção não destrutivas, como espectroscopia na região do visível e infravermelho próximo (Vis-Nir) estão ganhando interesse nos estudos por ser um método não destrutivo, rápido e preciso na determinação de parâmetros de qualidade em frutas.

## **2. OBJETIVO GERAL**

Identificar os principais fatores reguladores e desenvolver modelos de classificação precisos, através da espectroscopia na região do visível e infravermelho próximo e visível (Vis-Nir), para a previsão e identificação da incidência das principais desordens fisiológicas em mangas produzidas no Vale do São Francisco.

### **2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) Identificar possíveis indicadores da susceptibilidade de mangas 'Keitt' e 'Tommy Atkins' à incidência das desordens fisiológicas conhecidas como semente gelatinosa, tecido esponjoso e corte negro através dos parâmetros físicos e químicos nas frutas no momento da colheita e após o armazenamento.
- b) Desenvolver e validar modelos de calibração para a previsão na colheita e identificação nas frutas maduras da incidência de corte negro em mangas 'Tommy Atkins', com o uso da espectroscopia Vis-NIR.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 Mangicultura

A manga é uma das frutas tropicais mais populares do século 21, graças ao seu sabor, aroma e excelente valor nutricional único (LENUCCI et al., 2022). A *Mangifera indica* L. é originária da Ásia, pertencente à Ordem Sapindales, Família Anacardiaceae (NUNES, 1992). A fruta é consumida principalmente *in natura*, mas também pode ser usada para preparar sucos, geleias e polpa congelada (MESQUITA et al., 2020). É uma fruta com funções nutricionais, antioxidantes, anti-inflamatórias, metabólicas e imunomoduladoras relevantes para a saúde e o bem-estar humano, sua polpa contém carboidratos, proteínas, ácidos orgânicos, fibras alimentares e vários metabólitos secundários bioativos, incluindo carotenoides, ácidos fenólicos e fitoesteróis (LENUCCI et al., 2022).

A manga é produzida em uma área de aproximadamente 3,7 milhões de ha em todo o mundo (GENTILE et al., 2019), sendo que o continente asiático detém a maior produção, seguida da América, África e da Oceania. Os cinco maiores produtores são Índia, China, Tailândia, Indonésia e México (FAOSTAT, 2020).

Segundo o IBGE (2022), no ano de 2021 a manga teve uma área colhida de 76,06 mil hectares, e a produção 1,5 milhão de toneladas. A maior produção está localizada na região Nordeste, sendo os Estados da Bahia e Pernambuco os maiores produtores. Nesta região, as cultivares mais produzidas são Tommy Atkins, Haden, Keitt, Kent, Palmer, Rosa e Espada (MACHADO et al., 2017). Enquanto as cinco primeiras são destinadas sobretudo ao mercado consumidor internacional, as cultivares Rosa e Espada são consumidas nos mercados nacionais (MOUCO, 2010).

A cultivar Tommy Atkins apresenta como características frutas oblíquas ovais, casca espessa de cor vermelha a intensa púrpura, e massa média de 461 g (CORDEIRO, 2020). No passado, esta cultivar representava mais de 80% da área colhida na região do Vale do São Francisco, sendo que atualmente perdeu espaço para a Palmer (LIMA et al., 2018). A cultivar Keitt apresenta frutas ovais, de tamanho grande (600-800g), firmes, suculentos, doces, com casca verde-amarelada polpa amarela intensa com pouca fibra, além de possuir um pequeno caroço (7 a 8,5% da massa da fruta) e maturação tardia (FIGUEIRÊDO, 2020). Essa cultivar, assim como Tommy Atkins, Kent e Irwin apresentam susceptibilidade a desordens fisiológicas, já as fibrosas 'Espada' e 'Coquinho' são pouco ou quase nada afetadas (EVANGELISTA,

1999). As desordens fisiológicas representam um sério obstáculo à produção de frutas de alta qualidade para os crescentes mercados de exportação, cada dia mais exigentes em qualidade (SHIVASHANKAR, 2014).

### **3.2 Aspectos gerais de qualidade**

A busca por uma melhor qualidade de vida fez com que as pessoas buscassem alimentos mais saudáveis, aumentando o consumo de frutas e hortaliças frescas em detrimento dos produtos industrializados (MIGUEL, 2007). A qualidade dessas frutas e hortaliças é definida por uma série de características físico-químicas que a tornam mais ou menos atrativa para o consumidor.

Segundo Zhen et al. (2020) a qualidade de frutas é descrita avaliando atributos como cor e aparência, sabor (aroma) e textura. Além desses atributos, o conhecimento do benefício nutricional, a procedência, bem como o sistema de produção estão sendo exigidos pelos consumidores (BETEMPS, 2021). Particularmente, a manga tem em seu sabor delicioso, aroma agradável e rica fonte de nutrientes e fitoquímicos (vitamina C, vitamina E,  $\beta$ -caroteno, luteína, quercetina, mangiferina, ácidos graxos poli-insaturados ômega 3 e 6, etc...), atributos que a tornam bastante atrativa (NTSOANE et al., 2019).

Dentre os fatores que afetam a qualidade desta fruta, Oldoni (2022) destacam a radiação solar, temperatura, pluviosidade, água disponível, ventos, solo (fatores abióticos); bem como organismos vivos, como pragas e doenças presentes em um determinado local. Além desses fatores, distúrbios fisiológicos reduzem a produtividade, a qualidade, o valor de mercado (SARAN et al., 2015). A grande dificuldade para a identificação das desordens fisiológicas é que normalmente seus sintomas são detectados somente quando o consumidor consome a fruta.

### **3.3 Desordens fisiológicas**

Desordens fisiológicas referem-se a quaisquer danos produzidos nos tecidos da fruta, que não foram causados por patógenos ou danos mecânicos (PRADO, 2004). Estes podem ocorrer em uma ou ambas as fases de pré-colheita e pós-colheita. Os fatores pré-colheita que predispõem a manga a desordens fisiológicas incluem variedade, local de cultivo, condição do pomar, estresse ambiental, estado hídrico da planta, maturidade, nutrição mineral e condições climáticas na colheita (SHIVASHANKAR, 2014). Já as condições pós-colheita que levam ao desenvolvimento de desordens fisiológicas são geralmente de natureza ambiental,

como tratamento térmico, temperatura de armazenamento, e atmosferas de armazenamento e transporte (BRECHT, 2018).

O grupo de desordens fisiológicas mais importantes em mangas é denominado colapso interno, que pode aparecer no início da maturação ou mesmo após a colheita, por ocasião da distribuição/comercialização das frutas (PRADO, 2004). O termo “colapso interno” é usado para denotar uma ou mais desordens fisiológicas em manga, os quais são caracterizados pelo amadurecimento prematuro e desigual do mesocarpo, assim como pela coloração marrom-escura da polpa. Dependendo de sua sintomatologia estas desordens são classificadas em tecido esponjoso, semente gelatinosa, corte negro ou nariz mole (EVANGELISTA, 1999; RAYMOND et al., 1998; MOGOLLÓN et al., 2020).

### **3.3.1 Tecido esponjoso**

Segundo Oak et al. (2022) essa desordem apresenta como sintoma inicial o aparecimento de manchas na polpa das frutas que escurecem durante o armazenamento e adquirem cavidades de ar no meio. Estes sintomas não são aparentes externamente na fruta no momento da colheita ou em sua fase madura, pronta para o consumo (VASANTHAIAH et al., 2006). Ravindra e Shivashankar (2004) levantaram a hipótese de que essa desordem estava relacionada ao estado fisiológico da semente. Suas observações sugeriram um possível papel da competição entre frutas na determinação da susceptibilidade de mangas ao tecido esponjoso, o que possivelmente poderia ocorrer nos estágios iniciais de crescimento e desenvolvimento, quando as sementes ativariam os mecanismos de quebra de dormência resultando em frutas susceptíveis ao tecido esponjoso.

### **3.3.2 Semente gelatinosa**

Essa desordem é caracterizada por um tecido transparente ao redor da semente com consistência de geleia que ao final se torna um anel marrom envolvendo a semente (MOGOLLÓN et al., 2020). Este distúrbio além de não ser perceptível externamente na fruta, também compromete parâmetros de qualidade como cor, sabor, sabor residual, textura e aparência da polpa (SESHADRI et al., 2019). Quanto às possíveis causas, Shivashankar et al. (2016) sugerem que o processo de germinação prematura de sementes pode estar envolvido.

### **3.3.3 Corte negro**

O corte negro é uma desordem fisiológica com poucos estudos e por consequência os mecanismos que regulam ainda são desconhecidos (MOGOLLÓN et al., 2020). Dentre os sintomas dessa desordem há o escurecimento da polpa que varia de marrom a preta com o avanço do armazenamento. Sua incidência em frutas das variedades Haden, Tommy Atkins, Kent e especialmente Ataulfo são comuns quando estas são submetidas a temperaturas entre 7 e 10°C em um intervalo de 1 a 4 semanas em decorrência do transporte em especial dos países da América do sul para México e Estados Unidos (BRECHT, 2018).

### **3.3.4 Nariz mole**

A desordem conhecida como nariz mole, teve seus sintomas descritos por Raymond et al. (1998) como um amadurecimento parcial do mesocarpo, na extremidade distal da fruta, que em seu estágio inicial resulta em uma área amarela definida entre o ápice do caroço e o exocarpo. Estes sintomas são notados apenas em frutas totalmente maduras. Com o seu desenvolvimento, todo o mesocarpo pode ser afetado, como consequência toda a polpa da fruta se torna aquosa e descolorida (SHIVASHANKAR, 2014).

Cheng et al. (2023) demonstrou com seu estudo que a falta de Cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) em frutas com sintomas de nariz mole não seria o fator determinante para sua incidência. Burdon et al. (1991), em seu trabalho com mangas 'Kent', apesar de ter identificado diferentes concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$  em frutas com e sem desordem, mostrou valores tão baixos quanto de  $\text{Ca}^{2+}$  em mangas 'Beverly' sadias. Estes resultados, segundo o autor, demonstram que a suscetibilidade de uma cultivar claramente desempenha um papel significativo que não pode ser explicado em termos de conteúdo ou distribuição de  $\text{Ca}^{2+}$  na polpa.

## **3.4. Fatores possivelmente relacionados a incidência de desordens fisiológicas em mangas**

### **3.4.1. Fatores físicos e químicos**

As desordens fisiológicas em mangas são um problema porque comprometem parâmetros de qualidade importantes como aparência, textura e sabor que são fatores importantes para a escolha pelo consumidor. Essas desordens não podem ser detectadas por inspeção visual, e normalmente se desenvolvem nos estágios finais

de amadurecimento, o que torna difícil prever na colheita ou identificar os sintomas na fruta madura (MOGOLLÓN et al., 2020).

Oldoni (2022), em seu estudo procurando identificar características físicas e composição química diferente entre mangas 'Palmer' sadias e com sintomas de colapso interno, revelou que parâmetros físicos importantes como firmeza e cor apresentaram diferenças significativas entre mangas com e sem a incidência de distúrbios fisiológicos. Além destes parâmetros, a relação SS/AT foi maior nas polpas de frutas com colapso interno, demonstrando que essas frutas se caracterizaram por uma maturação avançada desordenada dos tecidos. Esses resultados corroboram a teoria de Shivashankar et al. (2016) de que as frutas com desordens do tipo tecido esponjoso e semente gelatinosa, por exemplo, seriam consequência de uma competição natural na planta no qual em um determinado momento a semente de uma fruta que não consegue suportar a competição é separada da planta mãe, causando um choque fisiológico no embrião, afetando sua dormência e/ou viabilidade, com efeito profundo na firmeza, produção de etileno e conseqüentemente no amadurecimento e tempo de armazenamento.

#### **3.4.2. Fatores nutricionais**

Além da associação das desordens com o estado fisiológico da fruta, alguns estudos indicam também uma relação com desequilíbrio nutricional (ASSIS, 2004). Dentre os nutrientes, o baixo teor de  $\text{Ca}^{2+}$  na polpa tem sido considerado um fator importante para o aparecimento de desordens, por consequência, numerosos estudos de absorção, acúmulo, translocação e distribuição subcelular de  $\text{Ca}^{2+}$  em vários tecidos vegetais provaram que existe uma relação entre distúrbios fisiológicos e deficiência de  $\text{Ca}^{2+}$  (MA et al., 2023). Segundo Aular (2013), o  $\text{Ca}^{2+}$  desempenha papel fundamental, pois afeta a qualidade do produto final e sua capacidade de armazenamento, já que desempenha funções metabólicas importantes na parede celular, regulação da funcionalidade da membrana celular, constituição da lamela média, assim como é molécula sinalizadora no citosol.

A relação do cálcio com outros nutrientes também é objeto de estudos na busca pelo entendimento das causas de desordens. Ma et al. (2023), em seu estudo da correlação entre deficiência de  $\text{Ca}^{2+}$  e tecido esponjoso, mostrou que o tecido esponjoso na polpa da manga pode começar com um desequilíbrio de  $\text{N}/\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+/\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ , que é seguido por uma redução na capacidade de absorção de

Ca<sup>2+</sup> da fruta, danos à membrana e morte celular que por fim levaria aos sintomas da desordem.

### **3.5. Métodos para previsão e identificação de desordens fisiológicas em mangas**

A qualidade externa das frutas é apenas um dos requisitos responsáveis pela escolha do produto pelos consumidores. Um dos principais indicadores de qualidade das mangas é a presença de desordens fisiológicas internas. A dificuldade de lidar com essas desordens decorre que estas são de difícil detecção pois normalmente necessitam de análises destrutivas, nas quais são necessários materiais químicos, procedimentos complicados e demorados (MUNAWAR, 2019).

Diante disso, técnicas não destrutivas apresentam-se como uma alternativa de tecnologia promissora e rápida para a avaliação das características de qualidade internas de frutas. Dentre essas tecnologias, as mais relatadas na literatura são o uso de colorimetria, assim como a espectroscopia na região do visível e infravermelho próximo (*Near infrared*, NIR), fluorescência, imagens espectrais, técnicas de impulso e vibração acústica, tomografia computadorizada, uso da ressonância magnética, técnica do nariz eletrônico, entre outras (BETEMPS, 2021).

A colometria permite, por exemplo, caracterizar o estágio de maturação das frutas, através de associação de parâmetros físico-químicos, como teor de açúcar, pH, acidez, índice de maturidade e cor da casca da fruta (GARCIA et al., 2022). Já a tomografia computadorizada permitiu a identificação de escurecimento interno em maçãs 'Fuji' por Chigwaya et al. (2021), o uso do nariz eletrônico foi utilizado na identificação do patógeno da tristeza dos citrus em laranja por Hazarika et al. (2020).

Segundo Betemps et al. (2011), a espectroscopia visível (Vis) e infravermelho próximo (NIR) apresenta-se como uma tecnologia promissora e rápida na avaliação de características internas de várias frutas. Cruz et al. (2021) conseguiram prever os teores de sólidos solúveis, a firmeza e a presença de distúrbios internos de escurecimento em pêra 'Rocha', já Costa et al. (2019) determinaram com sucesso a maturação de mangas 'Palmer' e 'Tommy Atkins', mostrando que esta técnica possui um alto potencial para uso na agroindústria de frutas e hortaliças.

### **3.6 Espectroscopia na região do visível e infravermelho próximo (VIS/NIR)**

Segundo Betemps et al. (2021) a espectroscopia é um ramo da física que lida com o estudo da radiação absorvida, refletida, emitida ou espalhada por uma substância. Quanto ao espectro eletromagnético, essa mesma autora define como

uma grande variedade de energias de fótons que poderia ser dividida em diferentes bandas, como ondas de rádio, microondas, infravermelho, infravermelho próximo, visível, ultravioleta (UV), raio X, etc.

As regiões Vis e NIR do espectro abrangem as faixas de 400–750 nm e 750–2500 nm, respectivamente, as quais permitem determinar a qualidade interna das frutas como a previsão do teor de sólidos solúveis (SS), firmeza, matéria seca (MS), maturidade e cor da polpa (GABRIËLS, 2020). Um trabalho relacionado à detecção de distúrbio de escurecimento interno e atributos de qualidade em pera 'Rocha' (*Pyrus communis L.*) usando espectroscopia VIS-NIR, mostrou que o NIR na faixa de 500–1100 nm foi capaz de prever com sucesso o escurecimento interno nesta fruta com um  $R^2$  superior a 0,7 (CRUZ et al., 2021). Além disso, um modelo operando numa faixa de 650 a 950 nm foi desenvolvido e usado para detectar escurecimento da polpa em mangas 'Keitt' (GABRIËLS et al., 2020).

Esses espectros Vis-NIR coletados em alimentos possuem bandas de absorções de compostos com ligações químicas CH, OH e NH (OSBORNE, 2006). São as mudanças no espectro, pelas mudanças na composição química (C-H, O-H, e N-H) que permitem a identificação e quantificação de compostos orgânicos e inorgânicos, o que faz com essa tecnologia seja usada na determinação simultânea de vários compostos em uma amostra (BETEMPS, 2021).

Em frutas há a possibilidade do uso do Vis-NIR na detecção de desordens, tendo sido utilizado para detectar granulação em tangerina (THEANJUMPO et al., 2019) e defeitos internos em maçãs (HUANG et al., 2020). Em mangas, há a possibilidade de desenvolvimento de modelos Vis-NIR que podem ser usados para prever na colheita e detectar no mercado final a ocorrência de frutas com desordens fisiológicas internas, como semente gelatinosa, corte negro, tecido esponjoso, nariz mole, entre outras. Alguns estudos mostram esta possibilidade como em Seehanam et al. (2022), que utilizou a tecnologia NIR para detectar desordens internas em manga 'Namdokmai Sithong'. GABRIËLS et al. (2020) desenvolveu modelos para prever o escurecimento interno com base em espectros Vis-NIR obtidos em mangas.

Para que isso se torne possível há a necessidade de desenvolvimento de modelos Vis-NIR de calibração, os quais devem ser validados para cada genótipo e condições de cultivo (SILVA NETA, 2019; DE FREITAS, 2021).



#### 4. REFERÊNCIAS

- ASSIS, J. S. D; SILVA, D. J; MORAES, P. L. D. D. Equilíbrio nutricional e distúrbios fisiológicos em manga 'Tommy Atkins'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, p. 326-329, 2004.
- AULAR, J; & NATALE, W. Mineral nutrition and fruit quality of some tropical fruit: guava, mango, banana, and papaya. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, p.1214-1231, 2013.
- BARBOSA, L. F. S; CAVALCANTE, Í. H. L; LIMA, A. M. N. Desordem fisiológica e produtividade de mangueira cv. Palmer associada à nutrição de boro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 38, p.1-9, 2016.
- BETEMPS, D.L; FACHINELLO, J.C; GALARÇA, S.P. Espectroscopia do visível e infravermelho próximo (vis/nir) na avaliação da qualidade de mangas Tommy Atkins. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, p. 306-313, 2011.
- BETEMPS, D.L.; RAMOS, R. F. Avaliações não destrutivas em pós-colheita. **Informe Agropecuário**. Pós -Colheita, Belo Horizonte, v.42, n.314, p.00-00, 2021.
- BORGES, A. L; CORDEIRO, Z; ZILTON, J. M. C. Sistema Orgânico de Produção de Manga para a Região da Chapada Diamantina, Bahia. 2020.
- BRECHT, J.K. Mango. In: **Postharvest Physiological Disorders in Fruits and Vegetables**. 1. Ed. CRC-Press, 2019. p. 443-467.
- BURDON, J. N; MOORE, K. G; WAINWRIGHT, H. Mineral distribution in mango fruit susceptible to the physiological disorder soft-nose. **Scientia horticultrae**, v. 48, n. 3-4, p. 329-336, 1991.
- CEREZAL, P; BATISTA, A. R; PIÑERA, R. M. Evaluation de cultivares de mango para la elaboración de pulpas. **Alimentaria**, v. 260, p. 29-31, 1995.
- CHENG, Y; Xu, K; WANG, Y; WANG, Y; & ZHENG, X. Effects of preharvest bagging on soft nose disorder in mango (*Mangifera indica* L. cv. 'Keitt') during postharvest. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, p. 1-8, 2023.
- CHIGWAYA, K; PLESSIS, A; VILJOEN, D. W; CROUCH, I. J; CROUCH, E. M. Use of X-ray computed tomography and 3D image analysis to characterize internal browning in 'Fuji' apples after exposure to CO<sub>2</sub> stress. **Scientia Horticultrae**, v. 277, p. 109840, 2021.
- CRUZ, S; GUERRA, R; BRAZIO, A; CAVACO, A. M; ANTUNES, D; PASSOS, D. Nondestructive simultaneous prediction of internal browning disorder and quality attributes in 'Rocha'pear (*Pyrus communis* L.) using VIS-NIR spectroscopy. **Postharvest Biology and Technology**, v. 179, p. 111562, 2021.
- DE SOUZA COSTA, J. D; FIGUEIREDO NETO, A; SOUSA COSTA, M. D; GOMES, J. P; DA 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, 2019.

DE FREITAS, S.T. Monitoramento e predição de desordem fisiológica em mangas produzidas no Vale do São Francisco com o uso da espectroscopia. 2021.

EVANGELISTA, R. M. Qualidade de mangas ‘Tommy Atkins’ armazenadas sob refrigeração e tratadas com cloreto de cálcio pré-colheita. 1992. 129f. Tese.(Doutorado em Ciências dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

FAO. FAOSTAT: Statistics Division. Production Crops. Disponível em:< <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>. Acesso em: 14 de Set de 2022.

FIGUEIRÊDO, V. B; SIMÕES, W. L; BATISTA, R. O; DE ANDRADE, V. P. M; de CARMO MOUCO, M. A. Produção e pós-colheita da mangueira “Keitt” submetida a lâminas de irrigação no semiárido nordestino. **Water Resources and Irrigation Management-WRIM**, v. 9, n. 1-3, p. 12-22, 2020.

GABRIËLS, S. H; MISHRA, P; MENSINK, M. G; SPOELSTRA, P; WOLTERING, E. J. Non-destructive measurement of internal browning in mangoes using visible and near-infrared spectroscopy supported by artificial neural network analysis. **Postharvest Biology and Technology**, v. 166, p. 111206, 2020.

GARCÍA-MUÑOZ, M. C; TARAZONA-DÍAZ, M. P; MENESES-MARENTES, N. A; GONZÁLEZ-SARMIENTO, G; PINEDA-GUERRERO, A. S; GÓMEZ-URIBE, G. E. Development of color guides to evaluate the maturity of cacao clones by digital image processing. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 51, p. e69621, 2022.

GAZZOLA, R; GRUNDLING, RDP; ARAGÃO, Adalberto Araújo. Produção e mercado internacional de manga, 2020.

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

HAZARIKA, S; CHOUDHURY, R; MONTAZER, B; MEDHI, S; GOSWAMI, M. P; SARMA, U. Detection of citrus tristeza virus in mandarin orange using a custom-developed electronic nose system. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, v. 69, n. 11, p. 9010-9018, 2020.

HUANG, Y; LU, R; CHEN, K. Detection of internal defect of apples by a multichannel Vis/NIR spectroscopic system. **Postharvest Biology and Technology**, v. 161, p. 111065, 2020.

IBGE. Produção de manga em 2020. [Rio de Janeiro], 2020. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/manga/br>. Acesso em: 14 de Março de 2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção agrícola municipal Disponível em:

<[HTTPS://WWW.IBGE.GOV.BR/ESTATISTICAS/ECONOMICAS/AGRICULTURA-E-PECUARIA/9117-PRODUCAO-AGRICOLA-MUNICIPALCULTURASTEMPORARIAS](https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipalculturastemporarias)>epermanentes.html?=&t=resultados  
Acesso em: 1 de junho 2023.

LENUCCI, M. S; TORNESE, R; MITA, G; & DURANTE, M. Bioactive compounds and antioxidant activities in different fractions of mango fruits (*Mangifera indica* L., cultivar Tommy Atkins and Keitt). **Antioxidants**, v.11, n.3, p-484,2022.

LIMA, J. R. F; ALMEIDA, G. V. B; PEREIRA, A. F. C; ARAÚJO JÚNIOR, J. N. Análise do mercado de manga produzida no Vale do São Francisco: cenário atual e perspectivas para o curto prazo. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 13, 2018, Juazeiro. Anais. Juazeiro: Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2018.

MA, X., LIU, B; ZHANG, Y; SU, M; ZHENG, B; WANG, S; & WU, H. Unraveling correlations between calcium deficiency and spongy tissue in mango fruit flesh. **Scientia Horticulturae**, v.309, p.111694, 2023.

MACHADO, W.R.B; DE CARVALHO, R.M; NETO, A. F. Avaliação das perdas de manga no mercado varejista do Vale do São Francisco. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 10, p. 75-90, 2017.

MIGUEL, A. C. A; SPOTO, M. H. F; ABRAHÃO, C; SILVA, P. P. M. D. Aplicação do método QFD na avaliação do perfil do consumidor de abacaxi'Pérola'. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, p.563-569,2007.

MESQUITA, P. R; PENA, L. C; SANTOS, F. N. D; OLIVEIRA, C. C. D. Magalhães-Junior, J. T. Mango (*Mangifera indica*) aroma discriminate cultivars and ripeness stages. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 31, p. 1424-1433, 2020.

MOGOLLÓN, R; CONTRERAS, C; DA SILVA NETA, M. L; MARQUES, E. J. N; ZOFFOLI, J. P; DE FREITAS, S. T. Postharvest biology and technology non-destructive prediction and detection of internal physiological disorders in 'Keitt' mango using a hand-held Vis-NIR spectrometer. **Postharvest Biology and Technology**, v.167, p.1–7, 2020

MOUCO, M.A. do C. Cultivo da mangueira. Embrapa Semiárido-Sistema de Produção(INFOTECAE),2010.Disponívelem:<<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/884451>>. Acesso em: 26 de agosto de 2022.

MUNAWAR, A. A. Rapid and non-destructive detection of insect infestations on intact mango by means of near infrared spectroscopy. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2019. p. 012037.

NTSOANE, M. L; ZUDE-SASSE, M; MAHAJAN, P; SIVAKUMAR, D. Quality assessment and postharvest technology of mango: A review of its current status and future perspectives. **Scientia Horticulturae**, 249: 77-85, 2019.

NUNES, RF de M. Cultura da mangueira: origem e botânica, clima e solo, cultivares, manejo da cultura. EMBRAPA-CAPTSA, 1992.

OAK, PRANJALI et al. Transcriptional and translational perturbation in abiotic stress induced physiological activities and metabolic pathway networks in spongy tissue disorder of mango fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 188, p. 111880, 2022.

OLDONI, F.C. A; FLORENCIO, C; BERTAZZO, G. B; GRIZOTTO, P. A; JUNIOR, S. B; CARNEIRO, R.L; COLNAGO, L.A.; FERREIRA, M.D. Fruit quality parameters and volatile compounds from 'Palmer' mangoes with internal breakdown. **Food Chem.** **2022**, 388, 2022.

OSBORNE, B. G. Near-infrared spectroscopy in food analysis. **Encyclopedia of Analytical Chemistry** in 2006 by John Wiley & Sons, Ltd.

PRADO, R. de M. Nutrição e desordens fisiológicas na cultura da manga. ROZANE, DE; DAREZZO, RJ; AGUIAR, RL; AGUILERA, GHA, p. 199-232, 2004.

KIST BB, SANTOS CE; CARVALHO C; BELING RR. Anuário Brasileiro de Horti e Fruti 2019. 1. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, p. 72-74, 2019.

KIST BB, SANTOS C.E; CARVALHO C; BELING RR. **Anuário Brasileiro de Horti e Fruti 2022**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, p. 78-79, 2022.

WALSH, K. B; BLASCO, J; ZUDE-SASSE M; & SUN, X. Visible-NIR 'point'spectroscopy in postharvest fruit and vegetable assessment: The science behind three decades of commercial use. **Postharvest Biology and Technology**, v. 168, p. 111246, 2020.

RAVINDRA, V; SHIVASHANKAR, S. Spongy tissue in Alphonso mango—significance of in situ seed germination events. **Current Science**, v. 87, n. 8, p. 1045-1049, 2004.

RAYMOND, L; SCHAFFER, B; BRECHT, J. K; CRANE, J. H. Internal breakdown in mango fruit: symptomology and histology of jelly seed, soft nose and stem-end cavity. **Postharvest Biology and Technology**, v. 13, n. 1, p. 59-70, 1998.

RYBKA, A.C.P; CASTRO, CDP DA C; DE FREITAS, S.T. Geleia de manga com propriedades prebióticas Embrapa Semiárido-Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 2020.

SARAN, P. L; KUMAR, R; ERCISLI, S; CHOUDHARY, R. Fruit cracking in mango (*Mangifera indica* L.) cv. 'Dashehari'. **Erwerbs-Obstbau**, v. 57, n. 2, p. 93-96, 2015.

SEEHANAM, Pimjai et al. Internal disorder evaluation of 'Namdokmai Sithong' mango by near infrared spectroscopy. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, v. 63, n. 5, p. 665-675, 2022.

SESHADRI, S; MANOHARAN, S; SINGH, H. S. Preventive regulation of jelly seed disorder in Amrapali mango (*Mangifera indica* L) by pre harvest spray. **Horticultural Plant Journal**, 5 (2), 70–78. 2019.

SHIVASHANKAR, S. Physiological disorders of mango fruit. **Horticultural Reviews: Volume 42**, p. 313-348, 2014.

SHIVASHANKAR, S; V. RAVINDRA, AND L. LOUIS. Biochemical changes in seed and mesocarp of mango (*Mangifera indica* L.) cv. 'Alphonso' and their significance during the development of spongy tissue. **J. Hortic. Sci. Biotechnol.** 82:35–40. 2007

SHIVASHANKAR, S; SUMATHI, M; SINGH, H.S. Premature seed germination induced by very-long-chain fatty acids causes jelly seed disorder in the mango (*Mangifera indica* L.) cultivar 'Amrapali' in India. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 91, n. 2, p. 138-147, 2016.

SIQUEIRA, D. L; BOTREL, N; CARVALHO, V. D; RAMOS, V. H. V; COUTO, F. A. D. Características físicas e químicas de vinte cultivares de mangueira (*Mangifera indica* L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 10, p. 49-54, 1988.

SILVA NETA, M. L. Recomendação de espectrômetros NIR portáteis para monitoramento da qualidade de mangas" Keitt" produzidas no submédio do Vale do São Francisco. 2019.

THEANJUMPOL, Parichat et al. Non-destructive identification and estimation of granulation in 'Sai Num Pung'tangerine fruit using near infrared spectroscopy and chemometrics. **Postharvest Biology and Technology**, v. 153, p. 13-20, 2019.

VALDERRAMA, P; POPPI, R. J. Avaliação de figuras de mérito em calibração multivariada na determinação de parâmetros de controle de qualidade em indústria alcooleira por espectroscopia no infravermelho próximo. **Unicamp, Campinas**, 2005.

VASANTHAIAH, H. K; RAVISHANKAR, K. V; SHIVASHANKARA, K. S; ANAND, L; NARAYANASWAMY, P; MUKUNDA, G; PRASAD, T.G. Cloning and characterization of differentially expressed genes of internal breakdown in mango fruit (*Mangifera indica*). **Journal of plant physiology**, v. 163, n. 6, p. 671-679, 2006.

ZHENA, O.P; HASHIMA, N; MARINGGALA, B. Quality evaluation of mango using non-destructive approaches: A. **Journal of Agricultural and Food Engineering**, v. 1, p. 0003, 2020.

## **CAPÍTULO I. Fatores reguladores de desordens fisiológicas em mangas produzidas no Vale do São Francisco**

**RESUMO:** Produzida em regiões tropicais e subtropicais, a manga apresenta grande importância econômica no cenário mundial. Entretanto, apesar da importância, esta cultura apresenta grandes limitações como a elevada incidência de desordens fisiológicas nas frutas, tais como colapso interno que abrange distúrbios como semente gelatinosa, nariz mole e tecido esponjoso. Este estudo foi realizado com mangas 'Keitt' e 'Tommy Atkins' produzidas em duas safras comerciais. Em cada safra, as frutas foram colhidas na maturação fisiológica utilizada comercialmente em pomares com histórico de alta incidência das desordens fisiológicas semente gelatinosa, nariz mole, tecido esponjoso e corte negro. Foram colhidas 400 frutas para cada cultivar, totalizando 800 frutas. Após a colheita, as frutas foram transportadas para o Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-colheita da Embrapa Semiárido, Petrolina-PE, onde foi realizada uma caracterização inicial das frutas quanto ao parâmetro cor da casca (L, C, H), em seguida, foram armazenadas por um período de 30 dias a 9°C. Após este período, foi reavaliada a cor da casca, acrescido dos parâmetros físicos cor da polpa e firmeza. Cada fruta foi cortada e avaliada segundo a incidência de desordens fisiológicas internas: semente gelatinosa, nariz mole, tecido esponjoso e corte negro. Estas frutas foram agrupadas em: 1) sem sintomas de desordens, 2) com sintomas de semente gelatinosa, 3) com sintomas de corte negro, 4) com sintomas de nariz mole e 5) com sintomas de tecido esponjoso. As amostras coletadas foram também avaliadas para os níveis de macro e micronutrientes totais. Para cada tipo de amostra, frutas com desordem foram comparadas com frutas sem desordem. Além disso, procurou-se avaliar a relação entre a germinação de sementes e incidência de desordens fisiológicas. Os resultados obtidos para mangas 'Keitt' mostraram que mais de 90% das frutas apresentaram alguma das desordens estudadas. Destas, 75% apresentaram sintomas de corte negro, 11% semente gelatinosa, 10% de tecido esponjoso, 3% de nariz mole e 1% sadias. Já para 'Tommy Atkins', 38% apresentaram sintomas de corte negro, 19% de semente gelatinosa, 3% de tecido esponjoso, 40% de frutas sadias. Os resultados mostraram que, frutas com sintomas internos de corte negro, apresentaram menores valores para cromaticidade da casca nas duas cultivares avaliadas, bem como menores valores de luminosidade em mangas 'Tommy Atkins', assim como menores valores para cromaticidade e maiores para ângulo hue em ambas as cultivares. Frutas com semente gelatinosa apresentaram menores valores de firmeza da polpa de mangas 'Tommy Atkins', comparado com as outras desordens e frutas sadias. Maiores valores de SS foram encontrados em mangas 'Keitt' com sintoma de desordem fisiológica, já em mangas 'Tommy Atkins', maiores valores de SS ocorreram em mangas sadias. Para as avaliações nutricionais, apenas os teores de potássio (K) e magnésio (Mg) apresentaram resultados significativos em mangas 'Keitt' e fósforo (P), zinco (Zn), manganês (Mn) e boro (B) em mangas 'Tommy Atkins'. Desta forma, características da cor de casca e polpa, assim como os teores de sólidos solúveis podem ser relacionados aos sintomas de desordens fisiológicas em mangas 'Keitt' e 'Tommy Atkins', já quanto aos teores de nutrientes, os resultados mostraram uma maior necessidade de estudos para melhor entendimento da relação entre estas desordens e as concentrações e relações entre nutrientes.

**Palavras-chave:** *Mangifera indica*, corte negro, semente gelatinosa, colapso interno.

## 1. INTRODUÇÃO

Manga (*Mangifera indica* L.) é uma das frutíferas tropicais mais consumidas mundialmente por conta de características como a succulência, sabor delicioso, sabor exótico e valor nutricional (LAWSON, 2019). No comércio internacional, juntamente com outras frutas tropicais como goiaba (*Psidium guajava*) e mangostão (*Garcinia mangostana*), atingiu 7,8 milhões de toneladas em 2019 (FAO, 2020). Essa produção se concentra principalmente na Índia, China, Tailândia, Indonésia, Paquistão, México, Brasil, Bangladesh, Nigéria e Filipinas (KUMAR, 2021).

No Brasil a maior produção se encontra na região do Vale do São Francisco, com maior expressão nos estados de Pernambuco e Bahia. O melhoramento da manga, as condições climáticas favoráveis aliadas ao melhor manejo das culturas, entre outros fatores, contribuem para essa expressiva produção na região do Vale do São Francisco (CUNHA et al., 2022).

Apesar do cenário favorável à produção de manga no Vale do São Francisco, essa cultura ainda enfrenta problemas decorrentes da alta incidência de desordens fisiológicas caracterizadas pelo amadurecimento prematuro e desuniforme do mesocarpo da manga (ASSIS, 2004). Estas desordens são conhecidas como colapso interno que abrange distúrbios como semente gelatinosa, nariz mole, tecido esponjoso (KRISHNA et al., 2020). Além destas, outra desordem conhecida como corte negro caracteriza-se por uma descoloração na polpa que varia do marrom a preto (BRECHT, 2019). Estes problemas afetam a qualidade interna da fruta e resultam em mangas impróprias para o consumo.

Segundo Shivashankar et al. (2016), a semente gelatinosa afeta o interior da polpa ao redor do endocarpo e é caracterizada pelo amolecimento do tecido ao redor da semente. Esses mesmos autores sugerem que a semente gelatinosa pode estar relacionada a germinação precoce da semente. Já Krishna et al. (2020) sugerem que parâmetros como cor, textura, pH e SS/TA são parâmetros importantes na diferenciação de frutas com a presença de semente gelatinosa.

O tecido esponjoso é uma desordem que apresenta como sintomas tecido com aparência esponjosa na polpa mais próxima da semente. Com o avanço do amadurecimento, o tecido local fica com uma cor marrom-escura que por fim atinge todo o mesocarpo (MA et al., 2023). Ravindra e Shivashankar (2004) sugerem que a incidência de tecido esponjoso na variedade 'Alphonso' estaria relacionada com um choque fisiológico no embrião, ocasionado pela alta competição entre frutas nos

estádios iniciais do crescimento e desenvolvimento. Dentre as consequências, ocorreria a perda de água da polpa para a semente, ocasionando uma perda de cálcio na polpa que resultaria nos sintomas visuais da desordem. Ma et al. (2023), em estudo para entender os mecanismos relacionados à deficiência de  $\text{Ca}^{2+}$  em mangas 'Keitt' com tecido esponjoso, sugere que em comparação com a polpa saudável da fruta, o teor de  $\text{Ca}^{2+}$  diminuiu na polpa com essa desordem.

Raymon et al. (1998) definiu o distúrbio nariz mole como um amadurecimento parcial do mesocarpo na extremidade distal da fruta, que em seu estágio inicial resulta em uma área amarela definida entre o ápice do caroço e o exocarpo. A causa desta desordem ainda é desconhecida, porém sua similaridade com sintomas do tecido esponjoso sugere que seus fatores reguladores possam ser semelhantes.

Já o corte negro apresenta como sintomas uma descoloração marrom difusa que cobre a semente (MOGOLLON et al., 2020). Os seus fatores reguladores ainda são desconhecidos, estudos sugerem que frutas colhidas bem antes da maturação fisiológica e mantidas em temperaturas muito baixas tornam as frutas mais susceptíveis a essa desordem (BRECHT, 2019). Acosta-ramos et al. (2001), pesquisando mangas 'Haden', afirmaram que a incidência de corte negro foi observada 22 dias após a colheita em frutas armazenadas a  $13 \pm 1$  °C, e que essa incidência aumentou com o tempo de armazenamento.

Apesar de alguns estudos já evidenciarem mecanismos envolvidos na incidência de desordens fisiológicas, estes ainda necessitam de estudos já que suas causas são complexas e variam entre as culturas, além de existir outros fatores agindo em conjunto. Diante disso, a hipótese deste trabalho é de que mangas com e sem desordens podem apresentar características físicas e composição química diferentes. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar parâmetros físicos e químicos em mangas 'Keitt' e 'Tommy Atkins' no momento da colheita e após o armazenamento, visando identificar possíveis indicadores da susceptibilidade das frutas a incidência de corte negro, semente gelatinosa, nariz mole, ou tecido esponjoso.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

Foram utilizadas 400 mangas 'Tommy Atkins' e 400 mangas 'Keitt' colhidas em pomares comerciais das empresas Ibacem Agrícola Comércio e Exportação e Agropecuária Roriz Dantas (AGRODAN), localizadas no município de Juazeiro, BA, e no município de Belém do São Francisco, PE, respectivamente, nos estádios de



maturação de 1 a 3, conforme descrito por Santos et al. (2008). O clima da região é semiárido (BSwh), segundo a classificação de Köppen.

Após a colheita, as frutas foram transportadas para o Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-colheita da Embrapa Semiárido, Petrolina, PE, onde foram mantidas a 24°C ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ) até o início das análises, as quais ocorreram no mesmo dia da colheita. As frutas foram avaliadas quanto a cor da casca utilizando-se o sistema CIE L\*C\*h. Após essa etapa, as frutas foram armazenadas a 9° ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ) até atingirem a maturação de consumo com firmeza de polpa  $\leq 15\text{N}$ . Cada lado de cada fruta foi considerado uma amostra independente, totalizando 800 amostras de mangas 'Tommy Atkins' e 800 de mangas 'Keitt'.

Após a retirada da câmara fria, as frutas foram novamente avaliadas para a cor da casca. Após esta análise, foi retirada a epiderme de cada lado para a análise de firmeza de polpa. Em seguida, as frutas foram cortadas longitudinalmente até próximo ao caroço para realização das leituras de cor da polpa. Paralelamente, as frutas foram avaliadas para a incidência de semente gelatinosa, nariz mole, corte negro e tecido esponjoso (Figura 1). Frutas apresentando sintomas de podridão foram descartadas. Os tratamentos foram representados por frutas que após o armazenamento apresentaram-se como sadias ou frutas com as desordens fisiológicas nariz mole, semente gelatinosa, corte negro ou tecido esponjoso (Figura 1) para mangas 'Keitt'. No caso de mangas 'Tommy Atkins', a desordem nariz mole não foi considerada.

Uma parte da polpa armazenada foi seca em estufa a 65°C e utilizada para as análises de macro e micronutrientes, enquanto a outra parte foi congelada para as análises de ácido ascórbico e carotenoides totais. A terceira parte, foi utilizada para as análises de acidez titulável (AT) e sólidos solúveis (SS).



**Figura 1.** Mangas ‘Keitt’ apresentando sintomas de nariz mole (A), semente gelatinosa (B), tecido esponjoso (C) e corte negro (D).

## 2.1 ANÁLISES:

### 2.1.1 Análises físicas:

**a) Cores da casca e da polpa:** A análise de cor da casca foi realizada com um colorímetro digital modelo CR-400 (Minolta, Toquio, Japão). Os resultados foram expressos em luminosidade ( $L^*$ ) que corresponde a variação de preto (0) ao branco (100); croma ( $C^*$ ) que representa a intensidade de cor, variando do 0 (cor impura) até o 60 (cor pura); angulo Hue ( $h^\circ$ ) que indica  $0^\circ$  (vermelho),  $90^\circ$  (amarelo),  $180^\circ$  (verde) e  $270^\circ$  (azul).

**b) Firmeza de polpa:** Determinada com um texturômetro digital TA. XT/Plus (Extralab, Brasil) equipado com ponteira de 6 mm de diâmetro. Os resultados obtidos foram expressos em Newtons (N), representando a força necessária para efetuar 10 mm de penetração da ponteira através da polpa.

### 2.1.2 Análises químicas e bioquímicas

**a) Ácido ascórbico:** O conteúdo de ácido ascórbico (AA) foi quantificado pela titulação do suco com uma solução de Tillman (DFI - 2,6-diclorofenol indofenol) 0,02%. Um total de 5 mL de suco de manga foi diluído em 100 ml de ácido oxálico 0,5%. Por fim, 1 mL desta solução foi diluído em 49 ml de água destilada e titulado com a solução de Tillman até o desenvolvimento da coloração rosa claro permanente por 15 segundo (STROHECKER e HENNING, 1967). Os resultados foram expressos em mg por 100 g de suco.

**b) Sólidos solúveis (SS):** Determinados no suco extraído das amostras de polpa com um refratômetro digital modelo PAL-1 (Atago, São Paulo, Brasil). Os resultados foram expressos em °Brix.

**c) Acidez titulável (AT):** Determinada em 1 g de suco extraído das amostras de polpa, a qual foi diluída em 50 mL de água destilada e titulada com hidróxido de sódio 0,1N até pH 8,1 com o auxílio de um titulador automático Titrino Plus 848 (Metrohm, São Paulo, Brasil). Os resultados foram expressos em porcentagem de ácido cítrico.

**d) Carotenoides:** A quantificação de carotenoides ( $\beta$ -caroteno) foi realizada de acordo com a metodologia desenvolvida por Nagata e Yamashita (1992). Utilizando uma solução de hexano-acetona na proporção de 60% de hexano e 40% de acetona. Em seguida, pesou-se 10 mg de suco e adicionou 20 mL da solução hexano-acetona na proporção de 6:4 em um tubo Falcon. Posteriormente, a solução foi homogeneizada em agitador de tubos vórtex por 1 minuto, após a agitação deixou-se a solução em repouso por 1 minuto e posteriormente o sobrenadante foi transferido para tubos de ensaio e realizou-se as leituras em espectrofotômetro, em cubeta de vidro, nos comprimentos de onda ( $\lambda$ ) de 663nm, 645 nm, 505 nm e 453 nm. Após a leitura a quantificação do teor de  $\beta$ -caroteno foi calculada usando a equação:

$$\beta\text{-Caroteno (mg/100mL)} = (0,216 \times A_{663\text{nm}}) - (1,22 \times A_{645\text{nm}}) - (0,304 \times A_{505\text{nm}}) + (0,452 \times A_{453\text{nm}})$$

Os resultados multiplicados por 1000 para serem expressos em  $\mu\text{g}/100\text{mL}$ .

**e) Macro e micronutrientes:** As amostras de polpa coletadas após o armazenamento foram secas em estufa a 65°C, até peso constante. Após esse procedimento as

amostras foram moídas em moinho de bolas e utilizadas para análises de macro e micronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Na) e suas relações (Ca/Mg, K/Mg, K/Ca, N/Mg, N/Ca, N/B), segundo a metodologia proposta por Malavolta et al. (1997). Também foram quantificados os teores de nitrogênio (N) pelo método de Kjeldahl; fósforo (P) por espectrometria com amarelo de vanadato; potássio (K) e sódio (Na) por fotometria de chama; magnésio (Mg), cálcio (Ca), ferro (Fe) e manganês (Mn) por espectrofotometria de absorção atômica; e boro (B) por espectrofotometria com azometina-H.

### **2.1.3 Germinação de sementes**

De cada fruta, retirou-se a semente com auxílio de uma lâmina de inox afiada. As sementes foram posteriormente semeadas em recipientes de poliestireno de 300 mL contendo vermiculita como substrato e foram irrigadas diariamente. As sementes foram avaliadas para a ocorrência de germinação, assim como para a intensidade de germinação determinada pelo crescimento da plântula.

### **2.2 Análise estatística e software:**

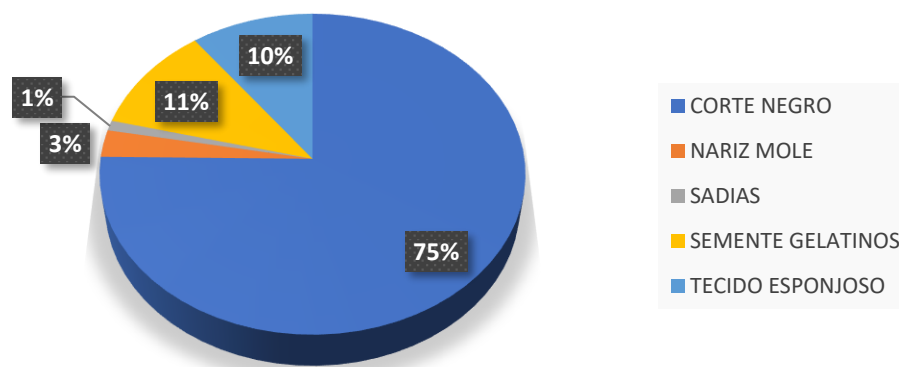
Os dados foram submetidos aos testes de normalidade de Shapiro-Wilk e homogeneidade de variâncias de Bartlett ( $p < 0,05$ ). Por não atender às pressuposições da análise de variância (ANOVA), mesmo após transformações, as variáveis foram submetidas ao teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ), e as medianas dos tratamentos foram comparados pelo teste de Dunn ( $p < 0,05$ ) com correção de Bonferroni. Para todas as análises foi utilizado o programa estatístico R (v. 4.2.2).

## **3. RESULTADOS**

### **3.1 Parâmetros físico-químicos, bioquímicos e nutricionais em mangas da cultivar 'Keitt'**

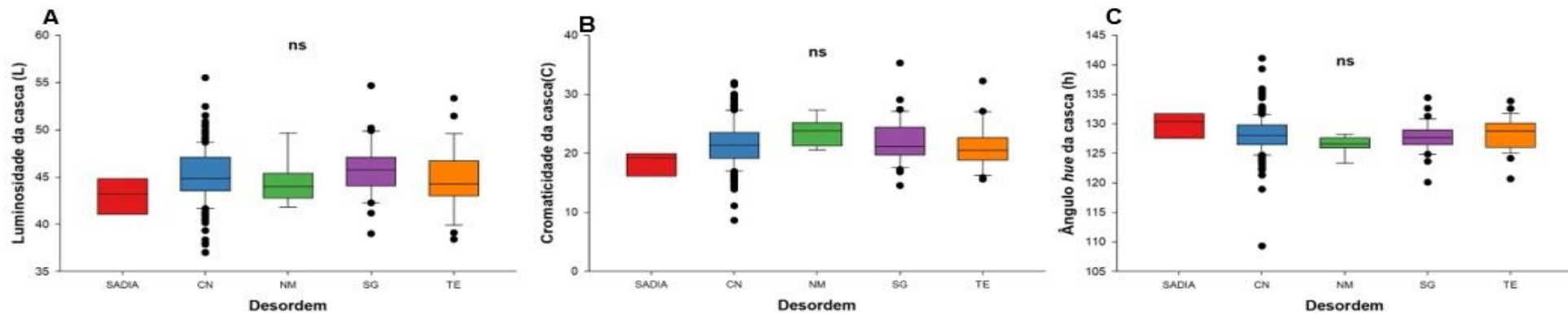
De acordo com os dados obtidos, ao atingirem a maturação de consumo, com firmeza  $\leq 15N$ , mais de 90 % das frutas apresentaram algumas das desordens estudadas. Destes, 75% apresentaram sintomas de corte negro, 11% semente gelatinosa, 10% de tecido esponjoso, 3% de nariz mole e 1% sadias (Figura 2).

## Incidência de Desordens

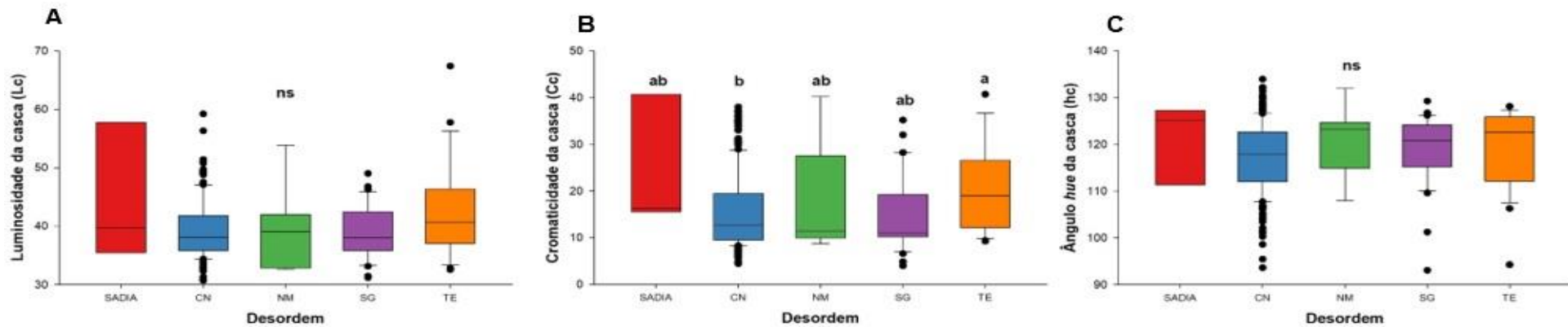


**Figura 2.** Porcentagens de mangas sadias ou com sintomas das desordens fisiológicas internas conhecidas como corte negro, nariz mole, semente gelatinosa e tecido esponjoso em manga 'Keitt' após o armazenamento a 9°C.

A luminosidade (L) e o ângulo hue da epiderme ( $^{\circ}h$ ) não apresentaram relações significativas com a incidência das desordens fisiológicas estudadas, tanto na colheita quanto após o armazenamento refrigerado (Figuras 3A, 3C, 4A e 4C). O parâmetro cromaticidade (C) da epiderme, apresentou efeito significativo para a incidência de desordens fisiológicas apenas após o armazenamento (Figura 4B). No qual, frutas com corte negro apresentaram menores valores de cromaticidade (C), indicando um maior escurecimento na casca das frutas durante o armazenamento.



**Figura 3.** Luminosidade (A), cromaticidade (B) e ângulo hue da casca (C) de mangas 'Keitt' avaliadas na colheita. As variáveis foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ) e as medianas comparadas pelo teste Dunn ( $p < 0,05$ ). CN-corte negro, NM- nariz mole, SG- semente gelatinosa e TE- tecido esponjoso. Letras distintas representam médias significativamente diferentes. Ns = não significativo a  $p < 0,05$ .

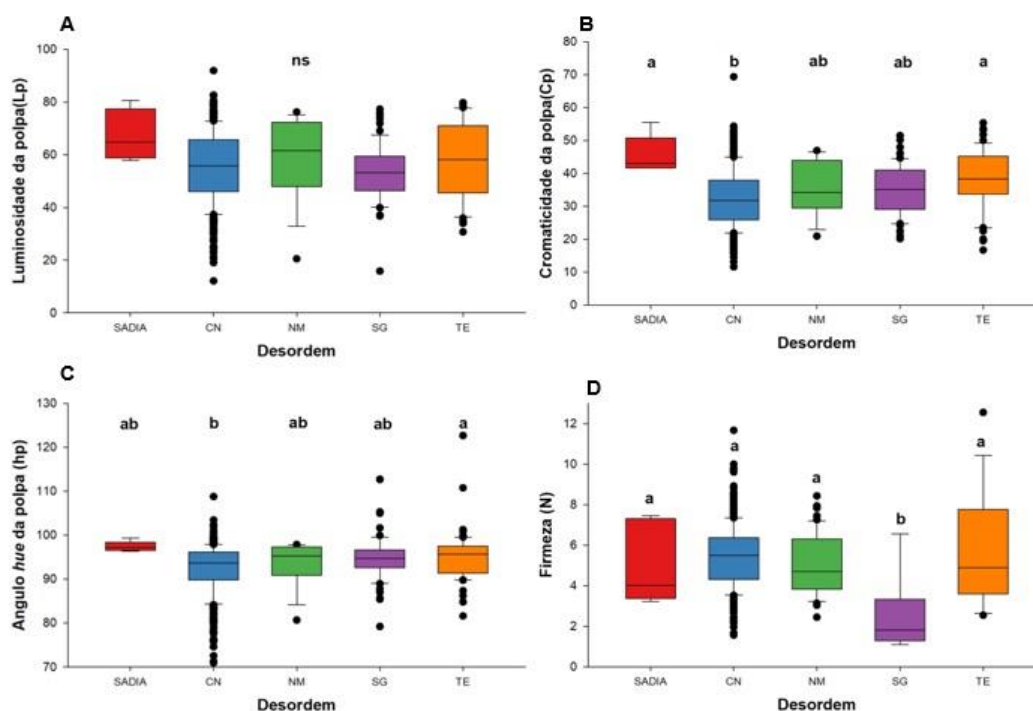


**Figura 4.** Luminosidade (A), cromaticidade (B) e ângulo hue (C) da casca de mangas 'Keitt' avaliadas após o armazenamento a 9°C. As variáveis foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ) e as medianas comparadas pelo teste Dunn ( $p < 0,05$ ). CN-corte negro, NM- nariz mole, SG- semente gelatinosa e TE- tecido esponjoso. Letras distintas representam médias significativamente diferentes. Ns = não significativo a  $p < 0,05$ .

As análises da cor da polpa realizadas após o armazenamento refrigerado, não mostraram efeito significativo para a luminosidade (Lp) (Figura 5A). Quanto a cromaticidade da polpa, os resultados mostraram que as frutas sadias e com sintomas da desordem tecido esponjoso apresentaram maiores valores, não diferindo estatisticamente das frutas com sintomas de nariz mole e semente gelatinosa (Figura 5B). Menores valores de cromaticidade foram observados em frutas com corte negro, demonstrando um maior escurecimento em frutas com essa desordem.

Os maiores valores do ângulo hue da polpa, foram encontrados em frutas com sintomas de tecido esponjoso, não diferindo estatisticamente de frutas sadias, com semente gelatinosa e com nariz mole. Frutas com corte negro demonstraram menores valores quando comparadas com as outras frutas (Figura 5C).

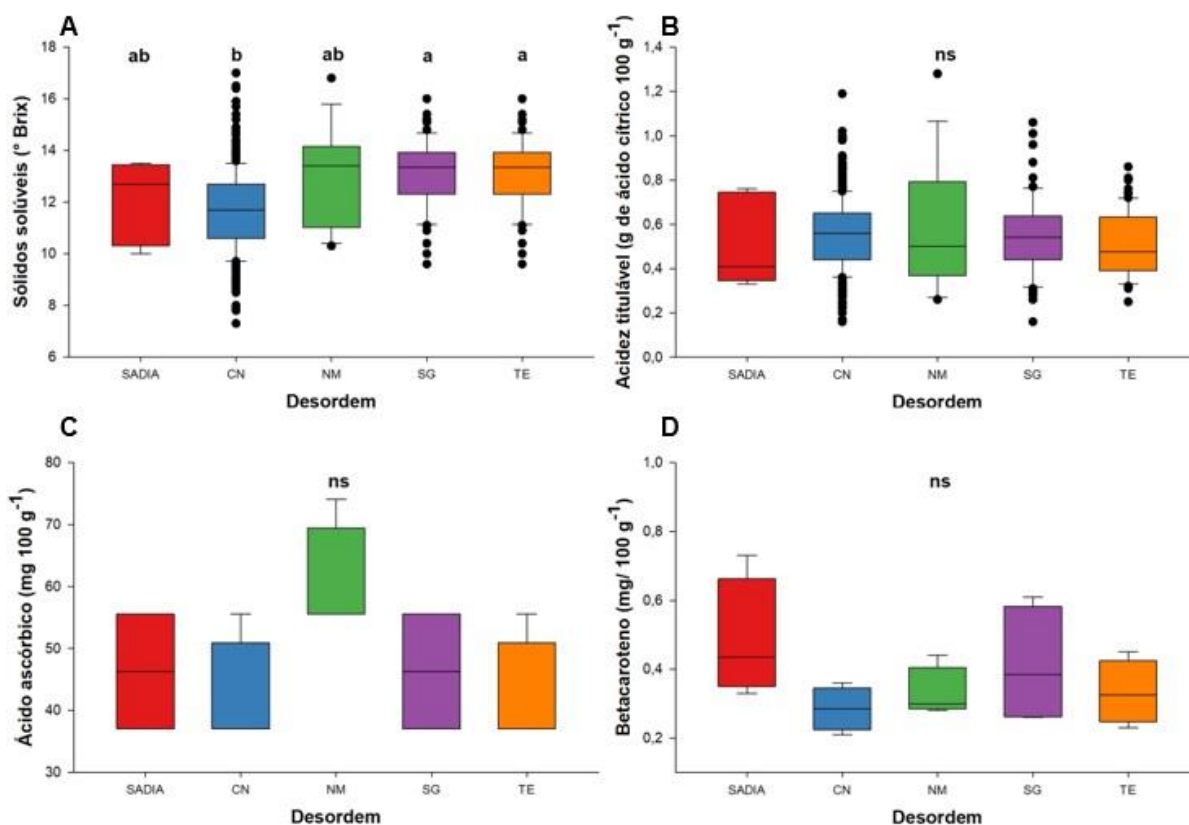
Mangas com semente gelatinosa apresentaram menor firmeza de polpa, enquanto as frutas sadias, com corte negro, nariz mole e tecido esponjoso não diferiram entre si (Figura 5D).



**Figura 5.** Luminosidade (A), cromaticidade (B), ângulo hue (C) e firmeza (D) de polpa de mangas 'Keitt' avaliadas no após o armazenamento a 9°C. CN-corte negro, NM- nariz mole, SG- semente gelatinosa e TE- tecido esponjoso. As variáveis foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ) e as medianas comparadas pelo teste Dunn ( $p < 0,05$ ). Letras distintas representam médias significativamente diferentes. Ns = não significativo a  $p < 0,05$ .

O teor de sólidos solúveis (SS) mostrou-se estatisticamente diferente entre as frutas estudadas. Frutas com sintomas de corte negro apresentaram menores teores de SS. Já os maiores teores de SS foram encontrados em frutas com tecido esponjoso e semente gelatinosa, não diferindo de frutas saudas e com sintomas de nariz mole (Figura 6A).

Os teores de ácido ascórbico (Figura 6C), acidez titulável (Figura 6B) e carotenoides totais (Figura 6D) não apresentaram efeito significativo entre frutas com sintomas de desordens e saudas.

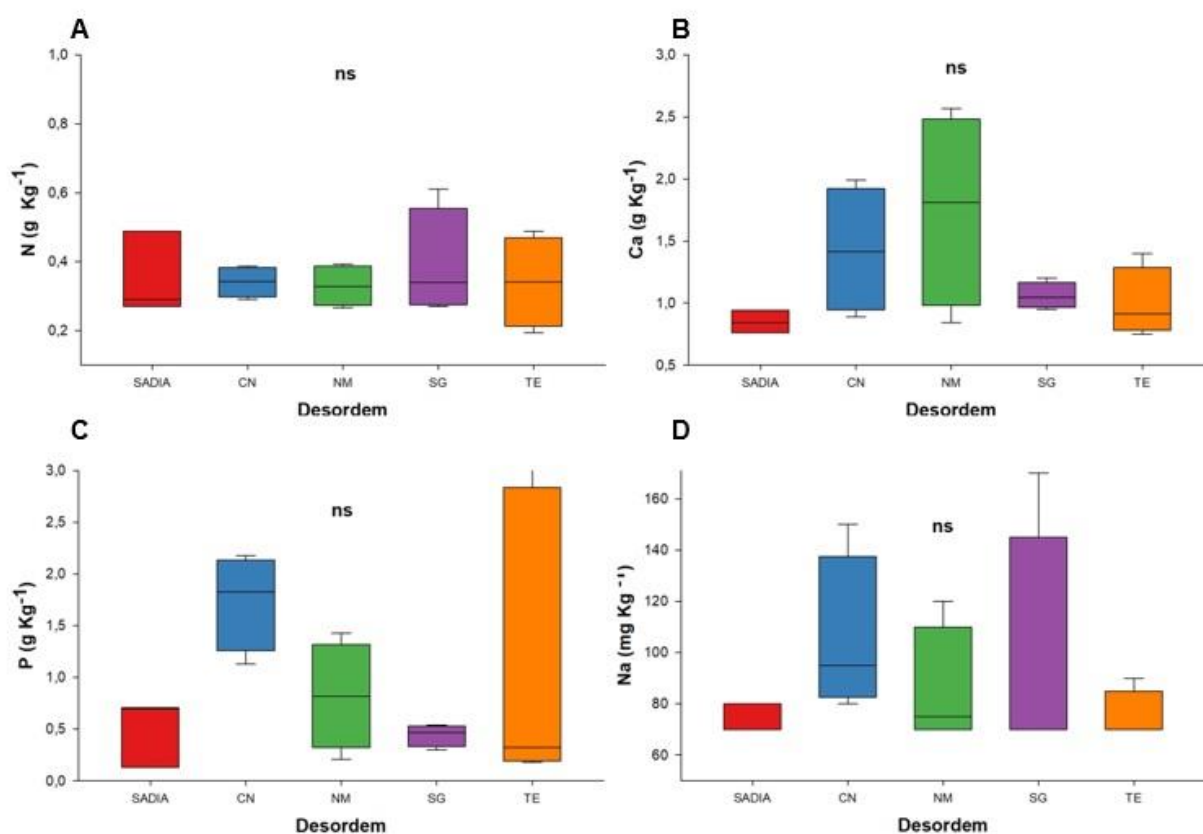


**Figura 6.** Teores de sólidos solúveis totais (SS) (A), acidez titulável (AT)(B), ácido ascórbico (C) e carotenoides totais (D) de mangas 'Keitt' avaliadas no após o armazenamento a 9°C. CN-corte negro, NM- nariz mole, SG- semente gelatinosa e TE- tecido esponjoso. As variáveis foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ) e as medianas comparadas pelo teste Dunn ( $p < 0,05$ ). Letras distintas representam médias significativamente diferentes. Ns = não significativo a  $p < 0,5$ .

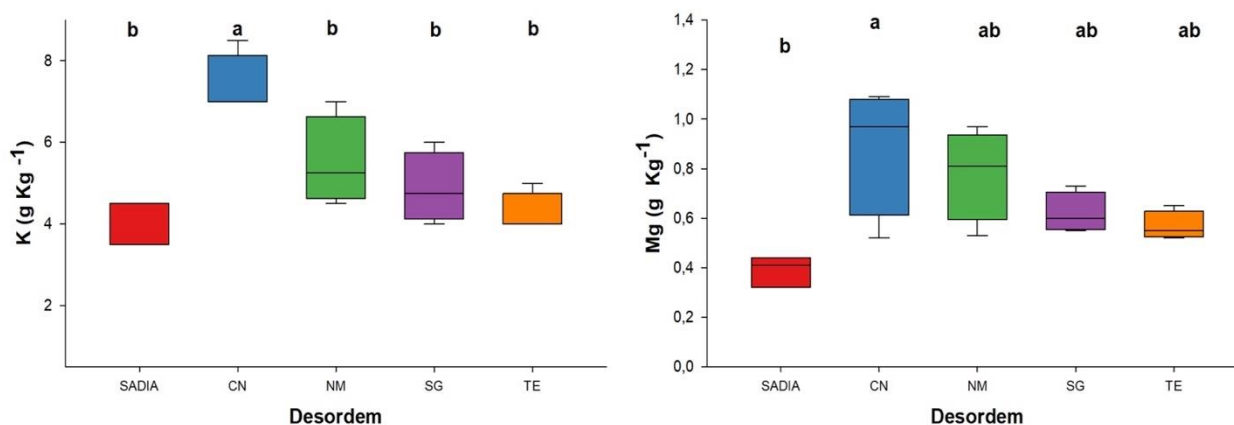


Os teores de macronutrientes (Figura 7) mostraram efeito não significativo para nitrogênio (N)(7A), cálcio (Ca) (7B), fósforo (P) (7C) e sódio (Na) (7D). O teor de potássio (K) apresentou efeito significativo, apresentando maiores valores para frutas com sintomas de corte negro e menores valores para frutas sadias, as quais não diferiram de frutas com tecido esponjoso, semente gelatinosa e com nariz mole (Figura 8A).

O magnésio (Mg) apresentou efeito significativo entre frutas com e sem desordens (Figura 8B). Frutas com sintomas de corte negro apresentaram maiores valores de Mg, não diferindo de frutas com tecido esponjoso, nariz mole e semente gelatinosa. Os menores teores de Mg foram observados em frutas sadias.



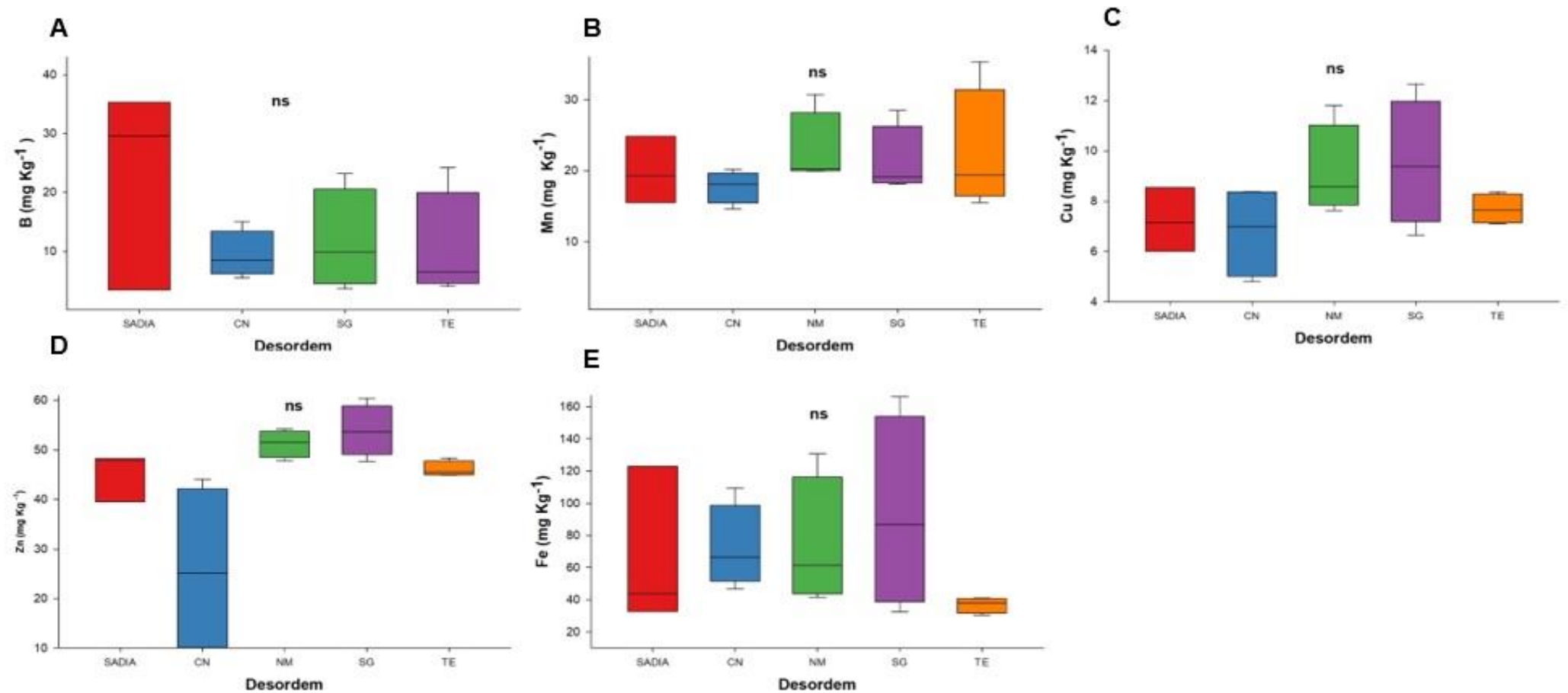
**Figura 7.** Teores dos macronutrientes N (g/Kg<sup>-1</sup>) (A), Ca (g/Kg<sup>-1</sup>) (B), P (g/Kg<sup>-1</sup>) (C) e Na (mg/Kg<sup>-1</sup>) (D) em mangas 'Keitt' avaliadas após o armazenamento a 9°C. Todos os nutrientes foram determinados com amostras secas em estufa. CN-corte negro, NM-nariz mole, SG- semente gelatinosa e TE- tecido esponjoso. As variáveis foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ) e as medianas comparadas pelo teste Dunn ( $p < 0,05$ ). Ns = não significativo a  $p < 0,05$ .



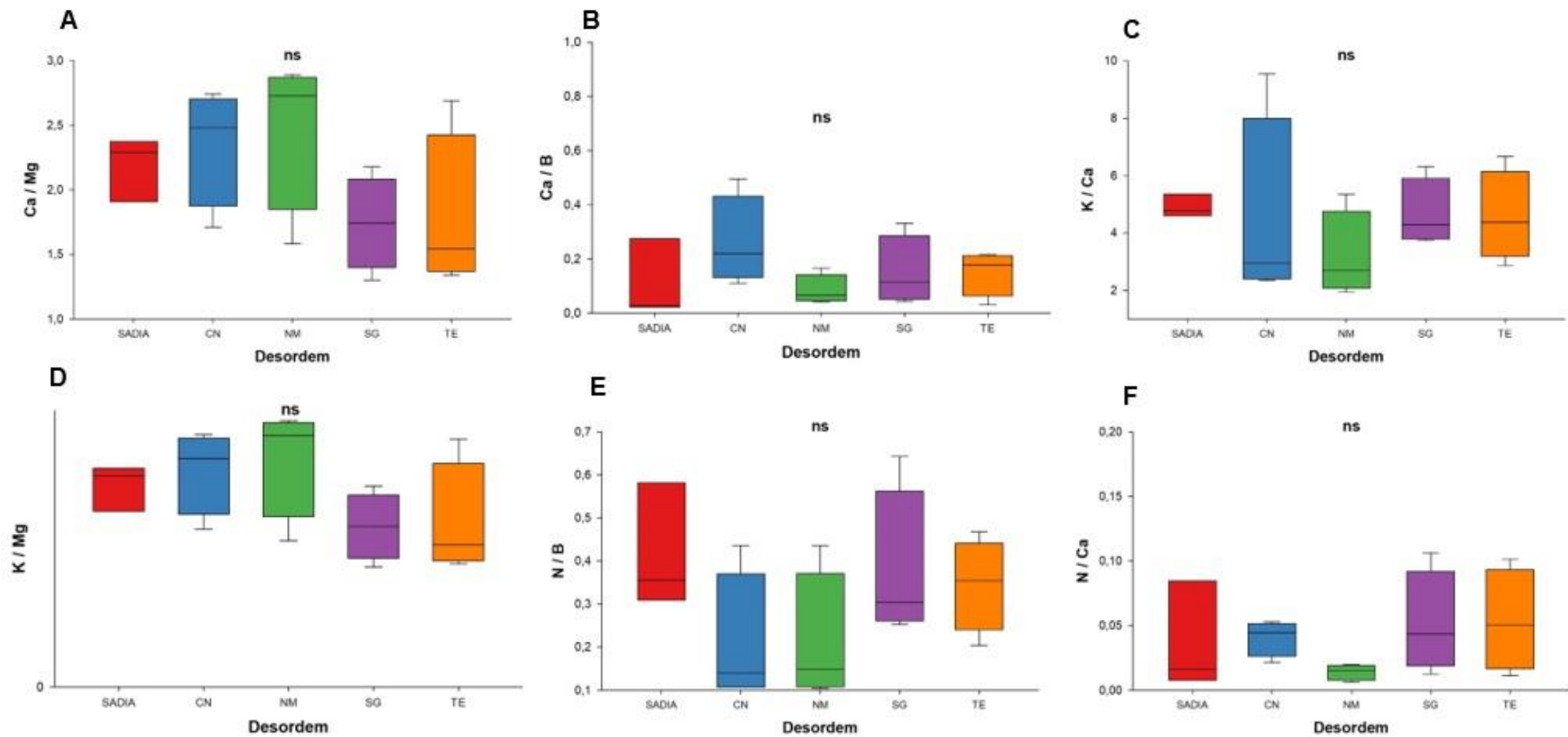
**Figura 8.** Teores dos macronutrientes K (g/Kg<sup>-1</sup>) (A) e Mg (g/Kg<sup>-1</sup>) (B) em mangas 'Keitt' avaliadas após o armazenamento a 9°C. Todos os nutrientes foram determinados com amostras secas em estufa. CN-corte negro, NM-nariz mole, SG-semente gelatinosa e TE- tecido esponjoso. As variáveis foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ) e as medianas comparadas pelo teste Dunn ( $p < 0,05$ ). Letras distintas representam médias significativamente diferentes.

Quanto aos teores de micronutrientes, os resultados não mostraram diferenças significativas entre mangas sadias e mangas com desordens fisiológicas para boro (B), manganês (Mn), cobre (Cu), zinco (Zn) e ferro (Fe) (Figura 9 A, 9B, 9C E 9D).

Não houve diferenças significativas para as relações Ca/Mg (Figura 10 A), Ca/B (Figura 10 B), K/Ca (Figura 10 C), K/Mg (Figura 10 D), N/B (Figura 10 E) e N/Ca (Figura 10 G) entre mangas sadias e mangas com desordens fisiológicas .



**Figura 9.** Teores dos micronutrientes B (mg/Kg<sup>-1</sup>) (A), Mn (mg/Kg<sup>-1</sup>) (B), Cu (mg/Kg<sup>-1</sup>) (C), Zn (mg/Kg<sup>-1</sup>) (D) e Fe (mg/Kg<sup>-1</sup>) (E) em mangas 'Keitt' avaliadas após o armazenamento a 9°C. Todos os nutrientes foram determinados com amostras secas em estufa. CN- corte negro, NM- nariz mole, SG- semente gelatinosa e TE- tecido esponjoso. As variáveis foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ) e as medianas comparadas pelo teste Dunn ( $p < 0,05$ ). Ns = não significativo a  $p < 0,05$ .



**Figura 10.** Relações Ca/Mg, Ca/B, K/Ca, K/Mg, N/B e N/Ca em mangas 'Keitt' avaliadas após o armazenamento a 9°C. Todos os nutrientes foram determinados com amostras secas em estufa. CN-corte negro, NM- nariz mole, SG- semente gelatinosa e TE- tecido esponjoso. As variáveis foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ) e as medianas comparadas pelo teste Dunn ( $p < 0,05$ ). Ns = não significativo a  $p < 0,05$ .

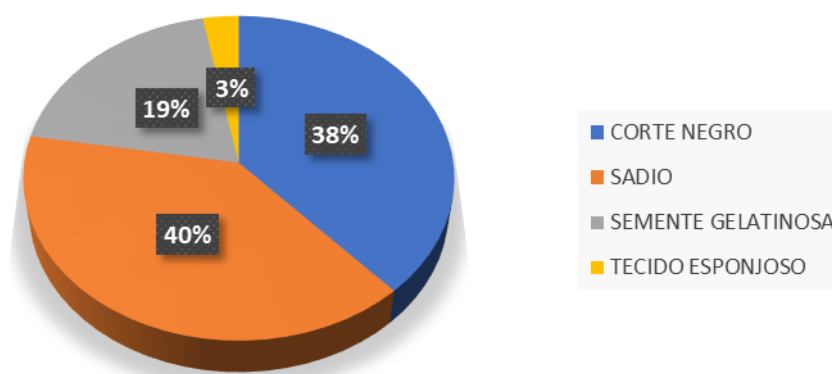
### 3.2 Germinação de sementes de mangas 'Keitt'

Das 320 sementes, apenas 5,94 % germinaram, e dentre essas nenhuma era de frutas sadias. As sementes de frutas com sintomas de corte negro apresentaram maior porcentagem de germinação (4,37%), seguidas de sementes de frutas que apresentaram semente gelatinosa (0,94%). Sementes de frutas com sintomas de nariz mole e tecido esponjoso apresentaram a mesma quantidade de sementes germinadas (0,31% cada). Os dados referentes a altura média das mudas durante os dias de medição não apresentaram significância estatística entre frutas com e sem desordem.

### 3.3 Parâmetros físico-químicos, bioquímicos e nutricionais em mangas da cultivar 'Tommy Atkins'

De acordo com os dados, após o armazenamento refrigerado no qual as frutas se encontravam com firmeza  $\leq 15N$ , a maioria das frutas analisadas apresentaram algumas das desordens estudadas (Figura 11). Destas, 38% apresentaram sintomas de corte negro, 19% de semente gelatinosa, 3% de tecido esponjoso, 40% de frutas sadias.

#### Incidência de Desordens

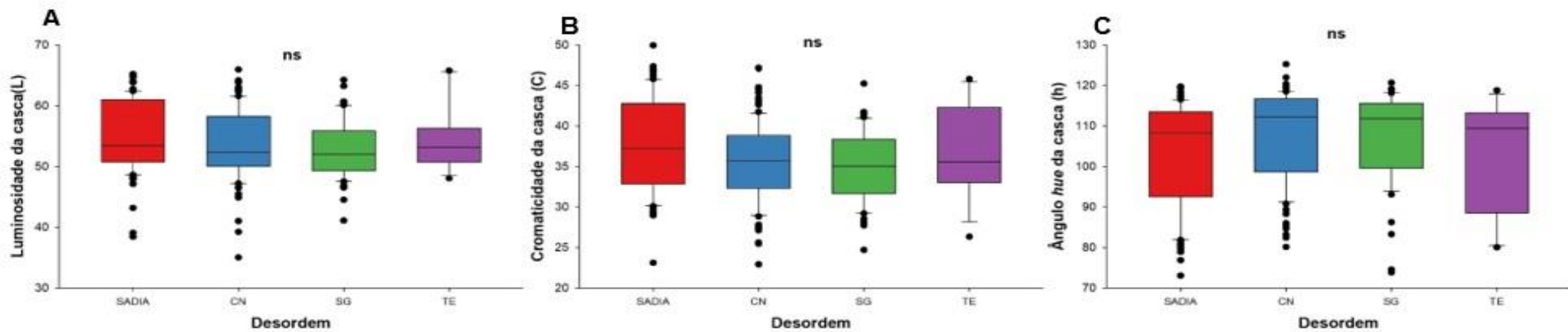


**Figura 11.** Porcentagens de frutas sadias e frutas com sintomas das desordens fisiológicas conhecidas como corte negro, nariz mole, semente gelatinosa e tecido esponjoso em manga 'Tommy Atkins' após o armazenamento a 9°C.

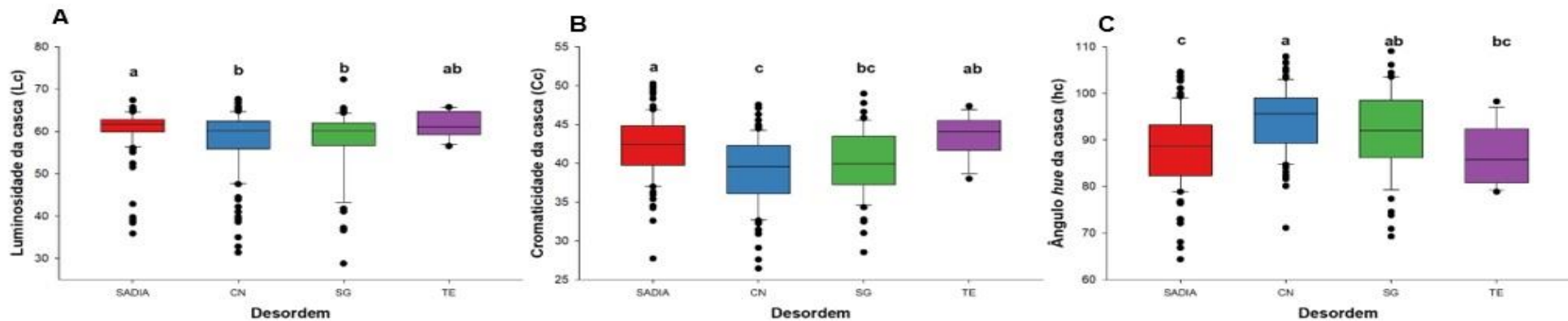
Para a luminosidade da epiderme (L), não houve diferença entre as frutas na colheita (Figura 12A). Após o armazenamento, a luminosidade mostrou efeito significativo entre aqueles com e sem desordem (Figura 13A). Para essa variável, os maiores valores foram encontrados em frutas sadias quando comparadas com frutas com tecido esponjoso, semente gelatinosa e corte negro que não diferiram entre si.

A cromaticidade (C) da epiderme não apresentou diferença significativa entre as frutas na colheita (Figura 12B). Após a colheita, as frutas sem desordens apresentaram maiores valores de cromaticidade, não diferindo de frutas com tecido esponjoso. Os menores valores para esta variável foram encontrados em frutas com corte negro que apresentaram um escurecimento maior durante o armazenamento (Figura 13B).

O ângulo hue da epiderme (h) na colheita não apresentou diferenças (Figura 12C) entre as frutas, de maneira oposta ao que ocorreu com as frutas após o armazenamento (Figura 13C). Entre os resultados, pode-se observar que frutas com corte negro apresentaram maiores valores deste parâmetro, não diferindo de frutas com sintoma de semente gelatinosa. As frutas com tecido esponjoso não diferiram estatisticamente de frutas com corte negro, mas essas últimas apresentaram um maior escurecimento e conseqüente menor valor de ângulo hue.



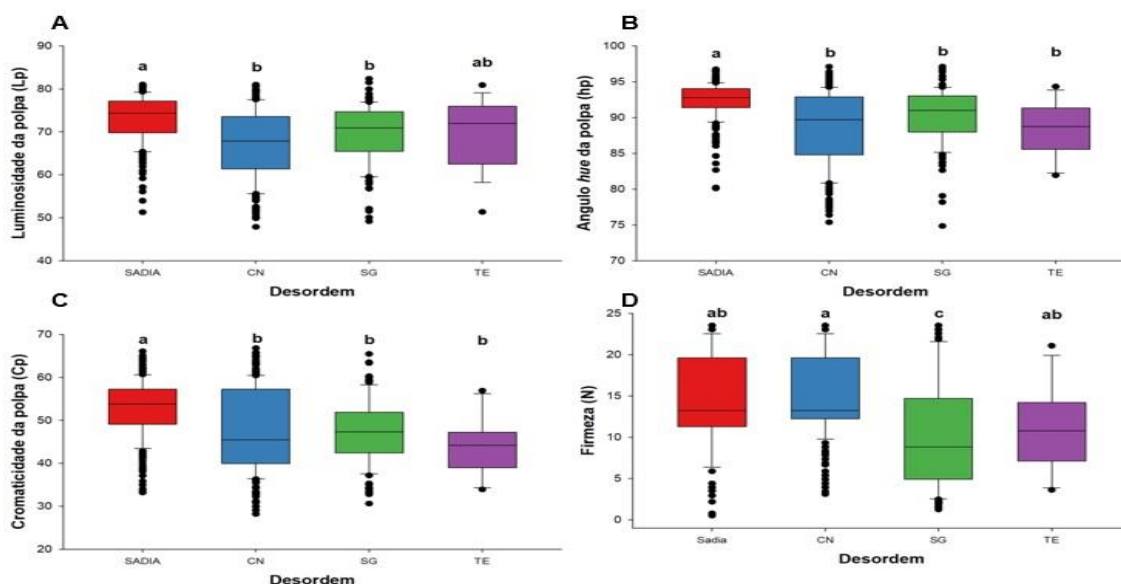
**Figura 12.** Luminosidade (A), cromaticidade (B) e ângulo hue (C) da casca de mangas ‘Tommy Atkins’ avaliadas na colheita. CN-corte negro, SG-semente gelatinosa e TE- tecido esponjoso. As variáveis foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ) e as medianas comparadas pelo teste Dunn ( $p < 0,05$ ). Ns = não significativo a  $p < 0,05$ .



**Figura 13.** Luminosidade (A), cromaticidade (B), ângulo hue (C) e firmeza da polpa de mangas ‘Tommy Atkins’ avaliadas após o armazenamento a 9°C. CN-corte negro, SG- semente gelatinosa e TE- tecido esponjoso. As variáveis foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ) e as medianas comparadas pelo teste Dunn ( $p < 0,05$ ). Letras distintas representam médias significativamente diferentes. Ns = não significativo a  $p < 0,05$ .

As análises de cor da polpa após armazenamento, mostraram que luminosidade (LP) e cromaticidade (CP) apresentaram diferenças significativas entre frutas sadias e com desordens fisiológicas (Figura 14A e 14B). No caso da luminosidade, frutas sadias e com tecido esponjoso foram estatisticamente iguais. Frutas com sintomas de corte negro e semente gelatinosa apresentaram menores valores, não diferindo entre si. As desordens corte negro, tecido esponjosos e semente gelatinosa apresentaram valores menores para a cromaticidade da polpa, sem diferirem estatisticamente entre si. O ângulo hue da polpa (Figura 14C) das frutas analisadas apresentou diferença estatística entre frutas sadias e com desordens fisiológicas, com valores maiores em frutas sem desordens fisiológicas. Frutas com tecido esponjoso, corte negro e semente gelatinosa não diferiram entre si, mas apresentaram valores menores em relação a frutas sem desordem.

A firmeza da polpa das frutas mostrou diferença estatística entre os diferentes tratamentos após armazenamento refrigerado. Frutas com a desordem semente gelatinosa apresentaram os menores valores para esse parâmetro (Figura 14D). Frutas sadias e com as desordens tecido esponjoso e corte negro não foram afetados de forma diferente, sendo estatisticamente iguais quanto a firmeza da polpa.

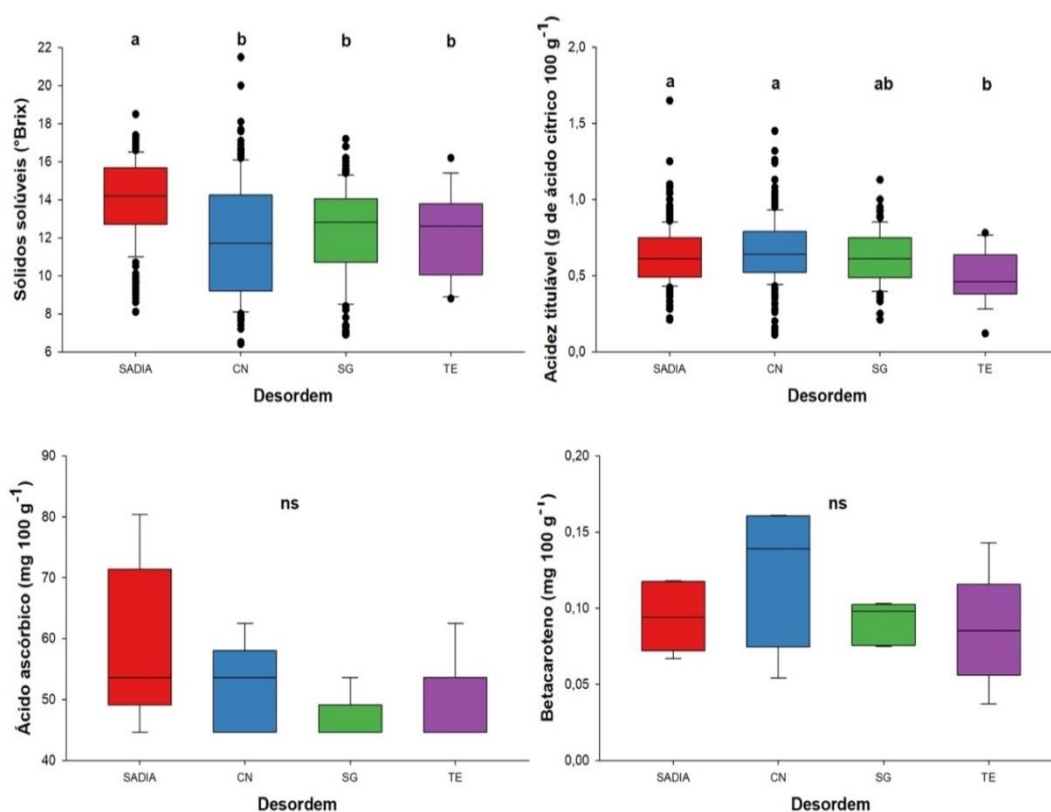


**Figura 14.** Luminosidade (A), cromaticidade (B), ângulo hue (C) e firmeza da polpa (D) de mangas ‘Tommy Atkins’ avaliadas após o armazenamento a 9°C. As variáveis foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ) e as medianas comparadas pelo teste Dunn ( $p < 0,05$ ). Letras distintas representam médias significativamente diferentes.



As análises de sólidos solúveis (SS) mostraram efeito significativo em frutas com e sem desordem, apresentando valores maiores em frutas sadias. Tecido esponjoso, semente gelatinosa e corte negro tiveram valores estatisticamente iguais para esse parâmetro nas amostras analisadas (Figura 15A). Já valores maiores também de acidez titulável (Figura 15B) foram encontrados em frutas sadias que não diferiram de frutas com sintomas de corte negro e semente gelatinosa. De outro modo, valores menores foram encontrados em frutas com tecido esponjoso que também não diferiram estatisticamente de frutas com semente gelatinosa.

Para os parâmetros bioquímicos ácido ascórbico e carotenoides totais não houve diferença estatística entre as frutas com e sem desordem (Figura 15C E 15D).

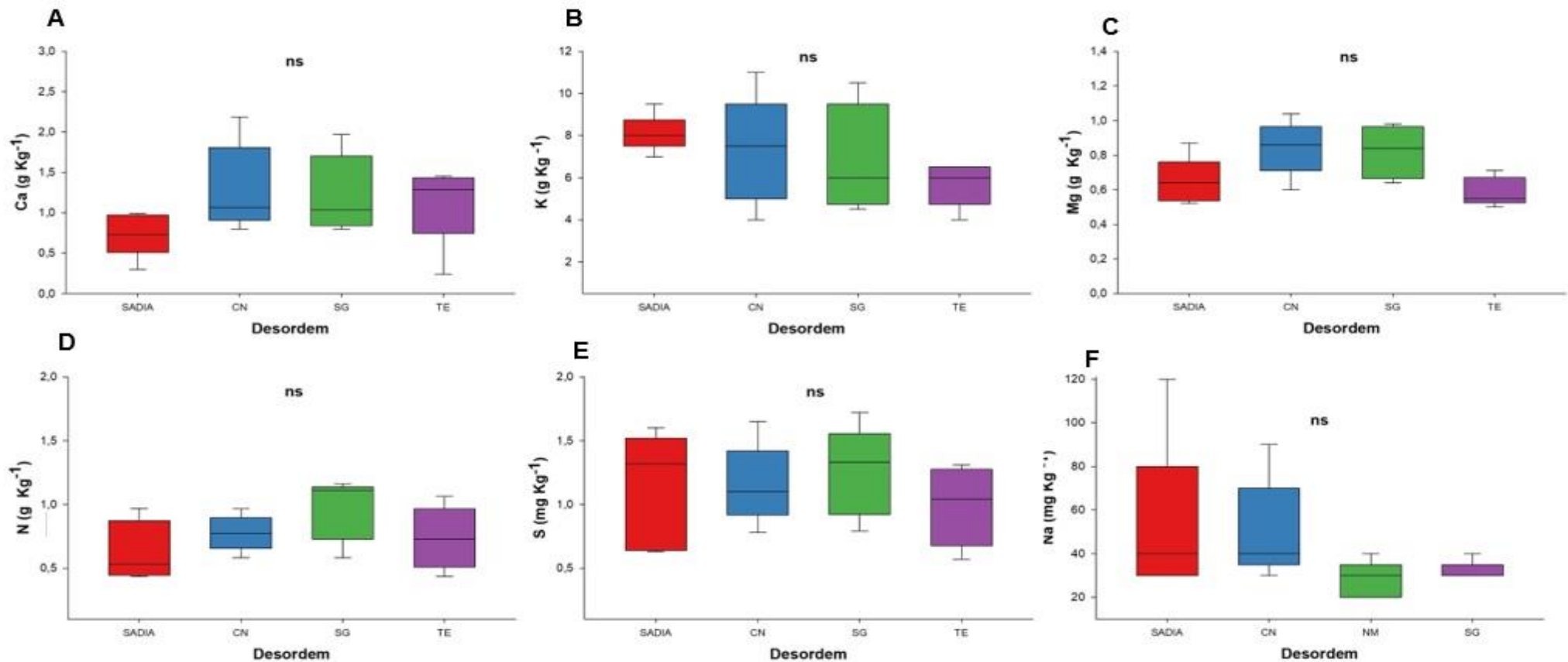


**Figura 15.** Teores de sólidos solúveis totais (SS), acidez titulável (AT), ácido ascórbico e carotenoides totais de mangas ‘Tommy Atkins’ avaliadas no após o armazenamento a 9°C. CN-corte negro, SG- semente gelatinosa e TE- tecido esponjoso As variáveis foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ) e as medianas comparadas pelo teste Dunn ( $p < 0,05$ ). Letras distintas representam médias significativamente diferentes. Ns = não significativo a  $p < 0,05$ .

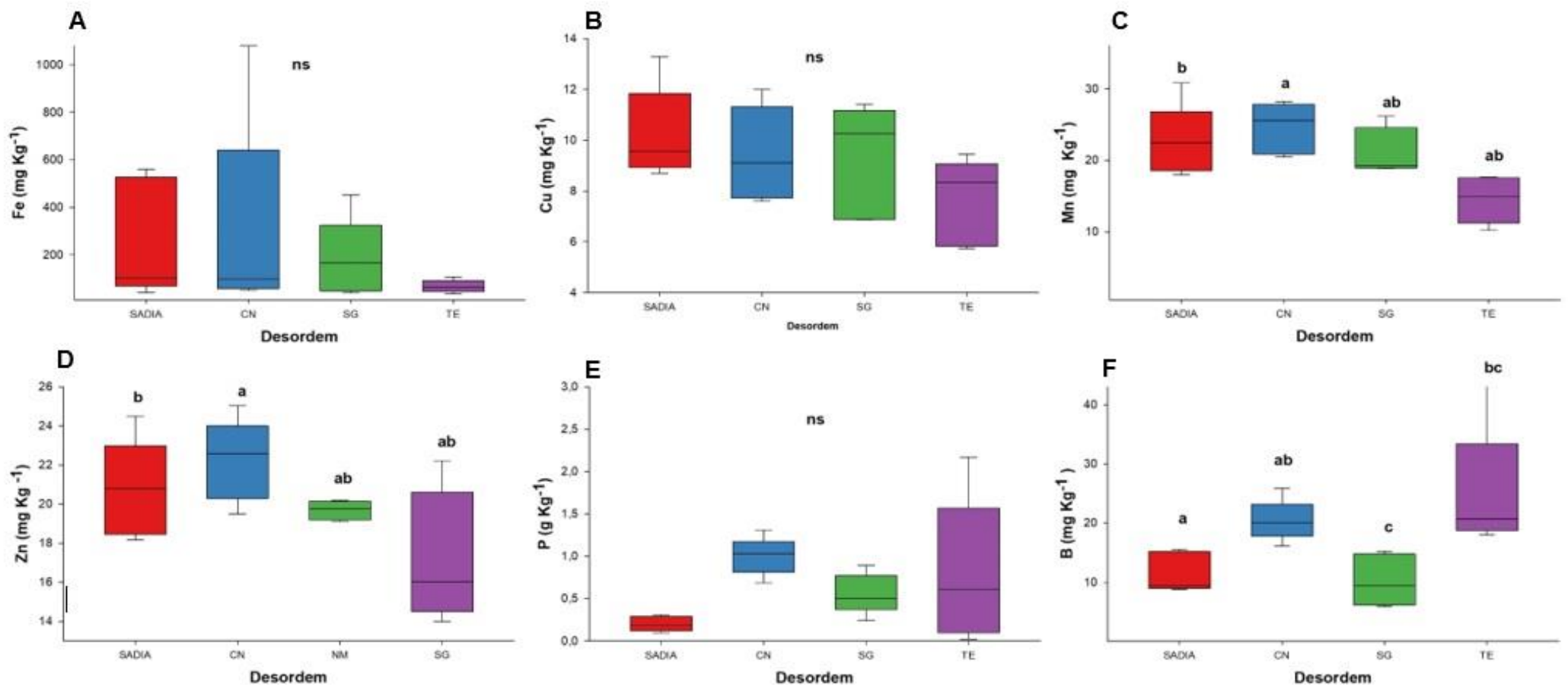
Os teores dos macronutrientes Ca, K, Mg, N, S, e Na, assim como dos micronutrientes Fe e Cu, não apresentaram diferenças significativas entre frutas sem e com desordens fisiológicas (Figura 17 A E 17B). A desordem corte negro apresentou maiores teores dos micronutrientes Mn e Zn (Figura 17C e 17D). Para o P, os dados mostraram que o corte negro não diferiu de amostras com semente gelatinosa e sadias, sendo os menores valores encontrados em frutas com tecido esponjoso (Figura 17E). Já para o Mn e Zn, frutas com corte negro não diferiram estatisticamente de frutas com tecido esponjoso e semente gelatinosa. Os menores teores de Mn e Zn foram encontrados em frutas sadias.

O B apresentou diferença estatística entre as frutas sadias e com desordens (Figura 17F). Os maiores valores encontrados foram em frutas sadias, mas estes não diferiram estatisticamente dos encontrados em frutas com corte negro. Corte negro e tecido esponjoso também não diferiram estatisticamente para os teores de B. Os menores valores foram encontrados em frutas com semente gelatinosa, não diferindo estatisticamente de frutas com tecido esponjoso.

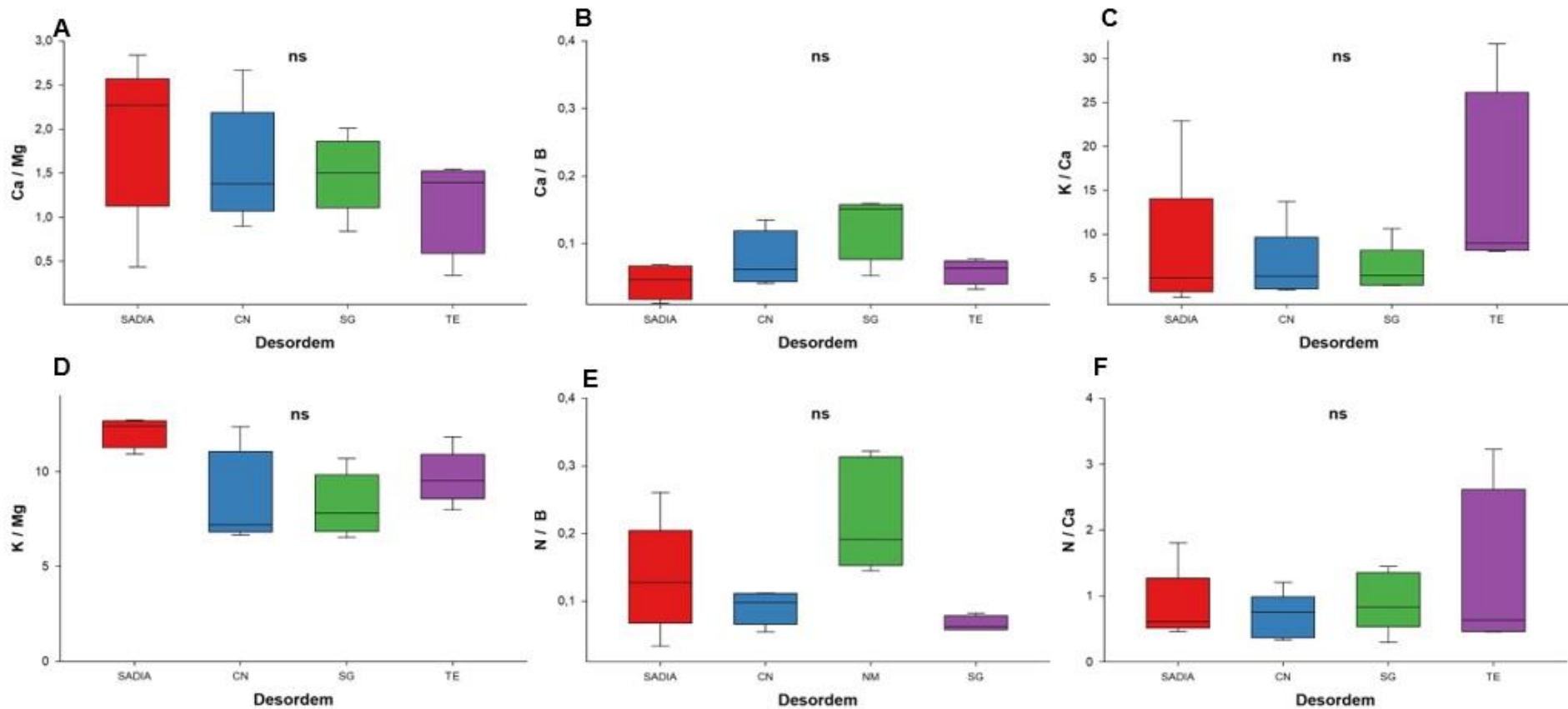
Não houve efeito significativo para as relações Ca/Mg, Ca/B, K/Ca, K/Mg, N/B e N/Ca entre frutas com e sem desordens (Figura 18).



**Figura 16.** Teores Ca (g/Kg<sup>-1</sup>) (A), K (g/Kg<sup>-1</sup>) (B), Mg (g/Kg<sup>-1</sup>) (C), N (g/Kg<sup>-1</sup>) (D), S (mg/Kg<sup>-1</sup>) (E) e Na (mg/Kg<sup>-1</sup>) (F) de mangas 'Tommy Atkins' avaliadas após o armazenamento a 9°C. Todos os nutrientes foram determinados com amostras secas em estufa. CN-corte negro, SG- semente gelatinosa e TE- tecido esponjoso. As variáveis foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ) e as medianas comparadas pelo teste Dunn ( $p < 0,05$ ). Letras distintas representam médias significativamente diferentes. Ns = não significativo a  $p < 0,05$ .



**Figura 17.** Teores de Fe (mg/Kg<sup>-1</sup>) (A), Cu (mg/Kg<sup>-1</sup>) (B), Mn (mg/Kg<sup>-1</sup>) (C), Zn (mg/Kg<sup>-1</sup>) (D), P (g/Kg<sup>-1</sup>) (E), e B (mg/Kg<sup>-1</sup>) (F) de mangas ‘Tommy Atkins’ avaliadas no após o armazenamento a 9°C. Todos os nutrientes foram determinados com amostras secas em estufa. CN-corte negro, SG- semente gelatinosa e TE- tecido esponjoso. As variáveis foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ) e as medianas comparadas pelo teste Dunn ( $p < 0,05$ ). Letras distintas representam médias significativamente diferentes. Ns = não significativo a  $p < 0,05$ .



**Figura 18.** Relações Ca/Mg (A), Ca/B (B), K/Ca (C), K/Mg (D), N/B (E) e N/Ca (F) em mangas 'Tommy Atkins' avaliadas após o armazenamento a 9°C. Todos os nutrientes foram determinados com amostras secas em estufa. CN-corte negro, SG- semente gelatinosa e TE- tecido esponjoso. As variáveis foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ) e as medianas comparadas pelo teste Dunn ( $p < 0,05$ ). Ns = não significativo a  $p < 0,05$ .

### **3.4 Germinação de sementes de mangas ‘Tommy Atkins’**

Dentre as 308 sementes avaliadas, apenas 9,09% germinaram, sendo as sementes provenientes de frutas sadias que apresentaram a maior porcentagem de germinação (5%), seguidas de frutas que apresentaram semente gelatinosa (1,875%), corte negro (1,714%) e tecido esponjoso (0,649%). Já em relação a média das alturas das mudas durante os dias de avaliação, os dados não mostraram resultados significativos entre frutas sadias e frutas com desordens fisiológicas.

## **4. DISCUSSÃO**

### **4.1 Incidência de desordens fisiológicas em mangas ‘Keitt’ e ‘Tommy Atkins’**

Do total de mangas ‘Keitt’, apenas 1% das frutas se mostraram livres de desordens fisiológicas, em contrapartida, mais de 70 % das frutas apresentaram sintomas da desordem conhecida por corte negro. Esses dados validam a afirmação de Mogollon et al. (2020) de que a incidência desta desordem pode comprometer até 100% de frutas após a colheita.

Em mangas ‘Tommy Atkins’, a incidência de desordens foi menor quando comparada com mangas ‘Keitt’, porém a porcentagem de frutas com desordens ainda foi superior a porcentagem de frutas sadias. Segundo Lima et al. (2022), a cultivar Keitt vem perdendo espaço para outras como a Haden em decorrência de sua alta susceptibilidade a distúrbios fisiológicos.

Diante de tais resultados, a incidência de desordens fisiológicas prejudica a oferta de mangas de qualidade para os consumidores. Logo a identificação de possíveis fatores reguladores para esses problemas é imprescindível para que, durante o manejo das frutas, os atuantes na cadeia comercial possam identificar frutas não sadias antes que estas cheguem ao consumidor final.

### **4.2 Parâmetros bioquímicos em mangas ‘Keitt’ e ‘Tommy Atkins’**

A diminuição do teor de ácido ascórbico ocorre desde o estágio inicial de desenvolvimento até a maturidade fisiológica (Gomez et al., 2008). Em estudo realizado por Krishna et al. (2020), mangas com sintomas de semente gelatinosa, avaliadas comparativamente com mangas sem desordens, apresentaram concentração de ácido ascórbico maior em decorrência à uma maior produção de ácido galacturônico, que é gerado via degradação da pectina e depois transformado

em ácido ascórbico. Esses mesmos autores, observaram que tecidos afetados pela semente gelatinosa, contribuem negativamente para a produção de  $\beta$ -caroteno, associando a incapacidade dos tecidos afetados pela desordem em sintetizá-los. Porém, os resultados encontrados no presente estudo, não apresentam essa relação, uma vez que os teores de ácido ascórbico e  $\beta$ -caroteno foram semelhantes tanto em mangas saudias quanto em mangas com desordem.

#### **4.3 Parâmetros físicos e químicos em mangas 'Keitt' e 'Tommy Atkins'**

A cor da polpa da fruta é um importante indicador de maturidade e amadurecimento (PADDA, 2011), particularmente a cor da casca, segundo Oldoni et al. (2022), é um dos principais indicadores da qualidade de frutas, bem como da aceitação destas pelos consumidores. Os resultados encontrados em mangas 'Tommy Atkins' avaliadas após armazenamento refrigerado mostram que o parâmetro luminosidade da casca (L) apresentou menores valores em mangas com desordens fisiológicas, quando comparadas com frutas saudias. Este escurecimento (L menor) pode ser uma consequência do escurecimento do mesocarpo próximo a epiderme destas frutas (MOGOLLON et al., 2020). Mangas com desordens podem estar em um estágio de amadurecimento mais avançado, o que pode causar o escurecimento dos tecidos (GABRIËLS, 2020).

Sintomas de corte negro em mangas após armazenamento refrigerado apresentaram os menores valores para cromaticidade da casca (C), tanto em mangas 'Keitt' quanto em mangas 'Tommy Atkins', luminosidade na polpa (Lp) de mangas 'Tommy Atkins', cromaticidade na polpa (Cp) nas duas cultivares e maiores valores para ângulo Hue (h), tanto na casca de mangas 'Tommy Atkins' quanto na polpa das duas cultivares. Analisando esses resultados pode-se verificar que mangas com corte negro apresentaram maior escurecimento quando comparado com as outras desordens e com frutas saudias. A desordem corte negro, segundo Brecht et al. (2019), tornou-se um problema significativo nos últimos 10 anos com mangas exportadas da América do Sul e do México para outros países, já que estas frutas muitas vezes são colhidas bem antes do amadurecimento e são armazenadas usando temperaturas de 7 a 10°C. Acosta et al. (2001) chegaram à conclusão que frutas armazenadas a 13°C por mais de 3 semanas apresentam maior incidência de corte negro, comparadas com frutas armazenadas nesta temperatura por menor tempo. Para Shivashankar et al. (2015), a lesão em tecidos ocasionadas por frio é a manifestação de várias alterações

fisiológicas e bioquímicas que ocorrem durante o armazenamento em baixas temperaturas e expressas após a transferência para temperaturas mais elevadas, levando ao escurecimento da polpa.

A firmeza da polpa das mangas 'Tommy Atkins' foi influenciada pela presença de desordens. Shivashankar et al. (2015) levantaram a hipótese de que mangas 'Amrapali' com sintomas de desordens fisiológicas internas apresentam germinação mais rápida da semente do que as sementes de uma fruta saudável. Krishna et al. (2020), analisando frutas com e sem semente gelatinosa, chegaram à conclusão de que frutas com esta desordem apresentam menor firmeza em decorrência de atividades mais altas de enzimas como a  $\alpha$ -amilase, pectina metilesterase, entre outras, juntamente com maior taxa de respiração da fruta afetada, sugerindo que a causa seria germinação prematura da semente das frutas.

A acidez titulável em mangas 'Keitt' não mostrou diferença significativa entre frutas com e sem desordem. Porém, os teores de sólidos solúveis em mangas 'Keitt' mostraram-se maiores em frutas com semente gelatinosa e tecido esponjoso. Esses resultados corroboram com os encontrados por Assis et al. (2004) e Krishna et al. (2020), que associam esse maior teor de sólidos solúveis com a maturação avançada desordenada dos tecidos, em resposta aos danos causados pela desordem na polpa.

Já mangas 'Tommy Atkins' apresentaram resultados contrários, nos quais os maiores valores de sólidos solúveis foram encontrados em frutas sadias. Vasanthaiah et al. (2006) também encontraram valores menores de sólidos solúveis em mangas com colapso interno e concluiu que esses resultados seriam consequência de uma menor atividade de amilase. Concluindo que o distúrbio, nesse caso, afetou o metabolismo do açúcar, levando à redução da degradação do amido.

#### **4.4 Fatores nutricionais relacionados a desordens fisiológicas em mangas 'Keitt' e 'Tommy Atkins'**

Frequentemente, desordens fisiológicas são relacionadas com os níveis de Ca e N na fruta (SILVA et al., 2008), porém não foi possível com dos resultados encontrados, nas duas cultivares, relacionar a presença de desordens fisiológicas com as concentrações desses nutrientes na polpa. Resultados semelhantes foram encontrados por Raymond et al. (1998) e Assis et al. (2004), os quais encontraram resultados inconclusivos a respeito da relação entre os níveis de Ca e N com a incidência de desordens fisiológicas. Segundo Shivashankar et al. (2015), embora a



incidência de desordens seja influenciada pelos níveis de elementos minerais, o simples suprimento de nutrientes pode não ser suficiente para um efetivo controle, confirmando, portanto, que a nutrição é apenas mais um fator determinante da susceptibilidade de frutas as diferentes desordens fisiológicas.

No caso dos valores encontrados em mangas 'Keitt', maiores valores de Mg também parecem estar relacionados com a presença de desordens fisiológicas, já que mangas com sintomas de desordens apresentaram maiores valores deste nutriente, comparadas com as sadias. Resultados semelhantes foram encontrados por Assis et al. (2004). MA et al. (2023) afirmam que o excesso de Mg pode competir com Ca pelos sítios de ligação da membrana plasmática, porém este nutriente não desempenha as mesmas funções para a integridade da membrana dos tecidos.

O excesso de K também tem sido associado a presença de desordens em mangas. Assim como o Mg, o K pode inibir a absorção de Ca pelas plantas, resultando em baixos níveis de Ca nas frutas. Mangas 'Keitt' com desordens apresentaram maiores valores de potássio, comparadas com frutas sadias, o que indica que este nutriente tem relação com a incidência de desordens.

Os baixos teores de B em mangas com semente gelatinosa e tecido esponjoso, indicam que este nutriente pode estar associado ao desenvolvimento destas desordens. Segundo Jatav et al. (2020), o B é um micronutriente essencial requerido por todas as plantas como um componente das paredes celulares, embora suas funções bioquímicas não sejam bem compreendidas. Para Raymond et al. (1998), desordens fisiológicas como colapso interno, apresentam como característica principal, a desorganização das células e a ruptura da parede celular seguidas de deterioração. Sendo o B um componente da parede celular, a sua falta pode estar associada à desestruturação da mesma.

O Zn e Mn encontraram-se em maiores concentrações em frutas com desordens fisiológicas. O Zn está envolvido em muitas funções fisiológicas e vários processos metabólicos e enzimáticos relacionados as reações de oxidação-redução que ocorrem na célula vegetal (MAKLAD et al., 2020). Já o Mn desempenha um papel crucial no ciclo do ácido tricarbóxico na oxidação e reações de redução, sendo responsável também por ativar várias enzimas como oxidoredutases, hidrolases e liase (JATAV et al., 2020). Maiores concentrações desses nutrientes em frutas com desordens fisiológicas podem indicar que sua presença causa modificações metabólicas relacionadas ao aparecimento dos sintomas destas desordens.

#### **4.5 Germinação de sementes de mangas 'Tommy Atkins' e 'Keitt'**

A baixa porcentagem de sementes que emergiram (<10%) pode ser em decorrência da característica das sementes de manga. Segundo Galli et al. (2012), as sementes perdem seu poder germinativo com relativa rapidez, devendo a época de semeadura coincidir com a da colheita das frutas.

Ravindra e Shivashankar (2004) levantaram a hipótese de que o início da germinação das sementes tem sido atribuído como a principal causa para a incidência de semente gelatinosa e tecidos esponjoso nas frutas. No experimento com mangas 'Keitt', nenhuma das frutas sadias apresentaram germinação de sementes. Entretanto, esse resultado não possibilita a associação entre germinação de semente e incidência de desordens internas devido à baixa amostragem de frutas sadias (5 frutas).

Mesmo no experimento com mangas 'Tommy Atkins', essa hipótese também não pode ser comprovada, já que as sementes germinadas em sua maioria foram de frutas que estavam sadias. A altura média também não se mostrou como parâmetro para confirmar essa teoria, já que não houve diferença significativa entre frutas sadias e com desordens fisiológicas. Ahmada et al. (2022), em seu estudo com a incidência de semente gelatinosa em mangas 'Dashehari', mostrou que a hipótese de Ravindra e Shivashankar (2004) não poderia ser considerada como verdadeira, já que em seu experimento mangas sadias e mangas partenocárpicas eram semelhantes quanto a incidência de semente gelatinosa.

### **5. CONCLUSÕES**

A cor da casca e polpa, como maiores valores de ângulo hue e menores valores de cromaticidade, podem ser parâmetros relacionados a desordens e, portanto, indicativos de sua presença. Maiores valores de teores de sólidos solúveis indicam que desordens demonstram, dentre suas características, uma maior maturação que pode estar associados a atividade de enzimas de degradação. Quanto aos teores de nutrientes, os resultados mostraram que os estudos precisam continuar para, finalmente, entender sua relação com a incidência destes defeitos internos. A associação da incidência de algumas desordens fisiológicas com o início do processo de germinação de sementes não pode ser comprovada com base nos dados encontrados

## 6. REFERÊNCIAS

ACOSTA-RAMOS, M; NIETO-ÁNGEL, D; NIETO-ÁNGEL, R; MENA-NEVARÉZ, G; TÉLIZ, D; & VAQUERA-HUETA, H. Presencia de la pulpa negra en frutos de mango'haden' durante postcosecha. **Revista Chapingo Serie Horticultura**, v. 7, n. 1, p. 131-141, 2001.

ASSIS, J. S. D; SILVA, D. J; & MORAES, P. L. D. Dequilíbrio nutricional e distúrbios fisiológicos em manga 'Tommy Atkins'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.26, p.326-329, 2004.

AHMADA, I; BHATTACHERJEE, A. K; SINGH, V. K; & INDIA, S. R. Seed germination and heat unit accumulation in association with jelly seed disorder in mango (*Mangifera indica* L.). **FRUITS**, v.77, n.6, 2022.

BRECHT, J.K., 2019. Mango. In: de Freitas, S.T., Pareek, S. (Eds.), **Posharvest Physiological Disorders in Fruit and Vegetables**. CRC Press, Boca Raton Florida, pp. 443–466.

FAOUS (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2020). Major tropical fruits. Preliminary market results 2019. **Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome**. Italy. Acesso em 20 de março de 2023. <http://www.fao.org/3/ca7566en/ca7566en.pdf>.

GABRIËLS, Suzan HEJ et al. Medição não destrutiva do escurecimento interno em mangas usando espectroscopia visível e infravermelho próximo apoiada por análise de rede neural artificial. **Biologia e Tecnologia Pós-Colheita**, v. 166, p. 111206, 2020.

GALLI, J. A; SOARES, M.B; MARTINS, A. L. M. Período de armazenamento e da massa na germinação de sementes de mangueira da variedade Carabão. 2012.

GOMEZ, M. L. PA; LAJOLO, F. M. Ascorbic acid metabolism in fruits: activity of enzymes involved in synthesis and degradation during ripening in mango and guava. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 88, n. 5, p. 756-762, 2008.

IBGE. Produção de manga em 2020. [Rio de Janeiro], 2020. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/manga/br>. Acesso em: 14 de Set de 2022.

JATAV, H. S; SHARMA, L. D; SADHUKHAN, R; SINGH, S. K., SINGH, S; RAJPUT, V. D. An overview of micronutrients: prospects and implication in crop production. Plant micronutrients: deficiency and toxicity management, 1-30.

KUMAR, MANOJ et al. Mango (*Mangifera indica* L.) leaves: Nutritional composition, phytochemical profile, and health-promoting bioactivities. **Antioxidants**, v. 10, n. 2, p. 299, 2021.

LIMA NETO, F. P; LIMA, M. A. C; SOUZA, E. D. C; & COSTA, C. (2022). Avaliação preliminar de genótipos de mangueira no Semiárido. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA**, 27., Florianópolis,2022.

MA, XIAOWEI et al. Unraveling correlations between calcium deficiency and spongy tissue in mango fruit flesh. **Scientia Horticulturae**, v. 309, p. 111694, 2023.

MOGOLLÓN, R; CONTRERAS, C; DA SILVA NETA, M. L; MARQUES, E. J. N; ZOFFOLI, J. P; & DE FREITAS, S. T. Non-destructive prediction and detection of internal physiological disorders in 'Keitt' mango using a hand-held Vis-NIR spectrometer. **Postharvest Biology and Technology**, v. 167, p. 111251, 2020.

PADDA, M. S; DO AMARANTE, C. V; 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, n.3, p.267-274,2011.

RAMA KRISHNA, K; SHARMA, R. R; SRIVASTAV, M. Physiological and biochemical attributes associated with jelly-seed disorder in mango (*Mangifera indica* L.). **Acta physiologiae plantarum**, v. 42, p. 1-12, 2020.

RAYMOND, L; SCHAFFER, B; BRECHT, J. K; & CRANE, J. H. Internal breakdown in mango fruit: symptomology and histology of jelly seed, soft nose and stem-end cavity. **Postharvest Biology and Technology**, v.13, n.1, p.59-70,1998.

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

SILVA, D. J et al. Efeito da aplicação pré-colheita de cálcio na qualidade e no teor de nutrientes de manga 'Tommy Atkins'. **Revista Brasileira de fruticultura**, v. 30, p. 74-78, 2008.

SHIVASHANKAR, S; SUMATHI, M; & SINGH, H. S. Premature seed germination induced by very-long-chain fatty acids causes jelly seed disorder in the mango (*Mangifera indica* L.) cultivar 'Amrapali' in India. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v.91, n.2, p.138-147,2016.

VASANTHAI AH, H. K; RAVISHANKAR, K. V; SHIVASHANKARA, K. S; ANAND, L., NARAYANASWAMY, P; MUKUNDA, G., & PRASAD, T. G. Cloning and characterization of differentially expressed genes of internal breakdown in mango fruit (*Mangifera indica*). **Journal of plant physiology**, v.163, n.6, p.671-679,2006.

## **CAPÍTULO II. Calibração e validação de um espectrômetro VIS-NIR portátil para o monitoramento da incidência de corte negro em mangas ‘Tommy Atkins’ produzidas no Vale do São Francisco**

**RESUMO:** Desordens fisiológicas representam uma das principais causas de perdas pós-colheita de mangas produzidas no Vale do São Francisco. Dentre as desordens em mangas, o corte negro compromete a qualidade de consumo da polpa das frutas, sendo os sintomas imperceptíveis externamente. Modelos de classificação desenvolvidos por máquinas de aprendizagem com dados espectrais apresentam-se como uma possível alternativa para o monitoramento de forma não destrutiva da incidência de corte negro em mangas. O objetivo deste trabalho foi desenvolver modelos de calibração para o uso da espectroscopia Vis-NIR no monitoramento da incidência de corte negro em mangas ‘Tommy Atkins’ produzidas no Vale do São Francisco. Mangas ‘Tommy Atkins’ foram colhidas na maturação fisiológica em um pomar comercial localizado no município de Juazeiro, Bahia. Após a colheita, as frutas foram transportadas para o Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-colheita da Embrapa Semiárido, Petrolina, PE, onde foram higienizadas, secas e mantidas a temperatura de 9 °C ( $\pm 1$  °C). Quando atingiram a maturação de consumo, as frutas foram cortadas próximo a semente nos dois lados opostos para avaliar a incidência de corte negro e sua porcentagem de dano na polpa. Cada lado da fruta foi considerado uma amostra independente. No momento da colheita e após as frutas atingirem a maturação de consumo com firmeza de polpa  $\leq 15$  N, dados espectrais na região visível e do infravermelho próximo foram coletados em cada lado de cada fruta com o espectrômetro portátil F-750 Produce Quality Meter. Os dados espectrais e de incidência e severidade de corte negro foram utilizados para desenvolver modelos de predição na colheita e de identificação em frutas maduras da incidência de corte negro. Os modelos foram desenvolvidos com o software Weka. De acordo com os modelos obtidos, foi possível prever na colheita a incidência de corte negro nas frutas maduras com acurácia superior a 60%, assim como a presença dos sintomas na polpa das frutas maduras com porcentagens de acertos superiores a 70%. Porém, os modelos falharam em detectar frutas com baixa severidade de corte negro.

**Palavras chave:** *Mangifera indica*, desordens fisiológicas, machine learning.

## 1. INTRODUÇÃO

A mangueira (*Mangifera indica* L.) é uma espécie frutífera cultivada em uma área de aproximadamente 3,7 milhões de hectares em todo o mundo, a qual se concentra nas zonas tropical, subtropical e, mais recentemente, na zona mediterrânica (GENTILI et al., 2019). Originária da Índia, a mangueira encontrou no Brasil excelentes condições edafoclimáticas para o seu cultivo (PAIXÃO et al., 2022).

Particularmente na região nordeste do Brasil, há o destaque para o Submédio do Vale do São Francisco que é responsável por aproximadamente 87% da produção nacional de mangas (COMEXSTAT, 2021). Esta região, segundo Souza et al. (2023), possui disponibilidade de recursos hídricos, mão de obra, condições climáticas e solo favorável a produção de mangas. Entre as principais cultivares produzidas está a Tommy Atkins, a qual apresenta características de interesse econômico, como cor de casca intensa, bom rendimento de frutas e vida pós-colheita satisfatória (CARVALHO et al., 2021).

Apesar da importância da mangicultura no Brasil, esta ainda apresenta grandes limitações como a elevada incidência de desordens fisiológicas como o corte negro. O corte negro é caracterizado pelo escurecimento da polpa da fruta durante o amadurecimento. Este distúrbio ainda é pouco estudado e seus mecanismos pouco conhecidos, o que associado à falta de métodos eficientes de monitoramento resultam em elevados níveis de perdas pós-colheita de frutas destinadas ao mercado consumidor. (MOGOLLÓN et al., 2020).

Os sintomas de corte negro não são visíveis externamente (RAGHAVENDRA et al., 2021), sendo a sua presença detectada apenas no momento do consumo (BETEMPS, 2021). Desta forma, torna-se importante o desenvolvimento de métodos não destrutivos para monitorar a susceptibilidade de mangas ao corte negro na colheita, bem como para identificar frutas maduras com sintomas internos de corte negro no mercado consumidor, evitando assim o envio e a comercialização de mangas impróprias para o consumo.

Diante disso, surge a necessidade de identificar técnicas modernas capazes de detectar sinais fisiológicos internos de desordens sem a necessidade de destruir as frutas. Segundo Ntsoane et al. (2019), as pesquisas estão concentradas no desenvolvimento e aplicação de várias técnicas não destrutivas para permitir a avaliação da qualidade de frutas. Estas técnicas apresentam como vantagem sua

rapidez, redução de desperdícios e suas medições não afetam as características de qualidade das frutas (NICOLAÏ et al., 2014).

Segundo Cheng et al. (2019), a espectroscopia na região do visível e infravermelho próximo (Vis-NIR) são técnicas não destrutivas que podem realizar análises quantitativas e qualitativas de qualidade de produtos agrícolas. Esse tipo de tecnologia tem como base as propriedades da radiação eletromagnética, medindo a energia gerada pela interação com as moléculas da amostra com a radiação em um determinado comprimento de onda (OSBORNE, 2000). O uso desta técnica em manga permite identificar atributos internos de qualidade, como o teor de sólidos solúveis e a presença de desordens internas nas frutas (DOS SANTOS NETO et al., 2017; TAIRA et al., 2017; RAGHAVENDRA et al., 2021; MOGOLLÓN et al., 2020).

A espectroscopia VIS-NIR, juntamente com algoritmos de aprendizado de máquinas (*machine learning*), apresenta um alto potencial para aplicação no monitoramento não destrutivo da qualidade de frutas. O aprendizado de máquina é uma categoria de inteligência artificial que permite que os computadores pensem e aprendam por conta própria (ALZUBI et al., 2018). Dentro desta teoria, segundo Ozturk et al. (2023), o aprendizado de máquinas supervisionado mapeia dados de entrada para classes de saída (classificação) ou valores (regressão) durante o treinamento, fazendo com que os resultados possam ser previstos a partir de novos dados de entrada.

Algumas pesquisas conseguiram através de modelos de classificação, identificar a presença ou ausência de defeitos internos em mangas (GABRIËLS et al., 2020; MOGOLLÓN et al., 2020). Entretanto, não existem estudos sobre o desenvolvimento de modelos para determinar os diferentes níveis de severidade de desordens fisiológicas internas em mangas. Logo, pouco é conhecido sobre o limite de detecção de espectrômetros Vis-NIR para o monitoramento eficiente e preciso de desordens fisiológicas internas em mangas.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver modelos de calibração para o uso da espectroscopia Vis-NIR no monitoramento da incidência de corte negro em mangas 'Tommy Atkins' produzidas no Vale do São Francisco.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Material Vegetal

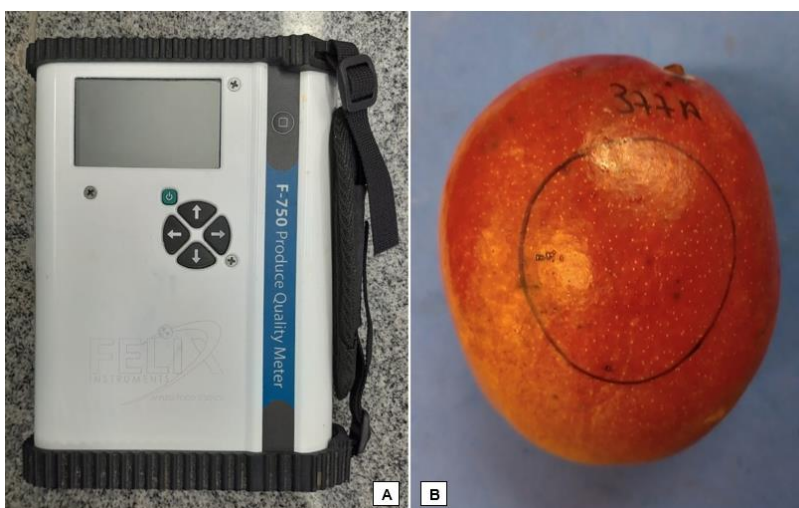
Um total de 400 mangas ‘Tommy Atkins’ foram colhidas na maturação fisiológica em um pomar comercial localizado no município de Juazeiro, Bahia. O clima da região é semiárido (BSwh), segundo a classificação de Köppen.

Após a colheita, as frutas foram transportadas para o Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-colheita da Embrapa Semiárido, Petrolina, PE, onde frutas com defeitos externos foram descartadas e as demais foram higienizadas, secas e mantidas a temperatura de 24 °C ( $\pm 1$  °C).

### 2.2 Coleta dos dados espectrais

Os espectros Vis-NIR foram registrados utilizando o espectrômetro portátil F-750 Produce Quality Meter (Felix Instruments, WA, USA) (Figura 1A). Os dados espectrais foram coletados diretamente na casca na região equatorial e em lados opostos de cada fruta, sendo cada lado considerado uma amostra independente (Figura 1B). Dessa forma, foram utilizadas 400 frutas, totalizando 800 espectros.

A aquisição dos dados espectrais foi realizada na temperatura de 24 °C ( $\pm 1$  °C), no momento da colheita e após o armazenamento refrigerado a 9 °C ( $\pm 0,5$  °C), quando as frutas atingiram a maturação de consumo com firmeza de polpa  $\leq 15$  N.



**Figura 1.** Espectrômetro portátil F-750 utilizado para a aquisição dos dados espectrais na região do visível e infravermelho próximo (A). Marcação nas frutas do local das leituras e obtenção de dados espectrais (B).



### 2.3 Classificação das frutas

Após atingir a maturação de consumo, durante o armazenamento refrigerado, as frutas foram cortadas próximo a semente nos dois lados opostos para avaliar a presença e intensidade de sintomas de corte negro. Apenas os espectros de frutas sadias e com sintomas de corte negro foram utilizados para a construção dos modelos de classificação. As classes utilizadas foram frutas sadias (0% dano), frutas com corte negro, cuja severidade foi identificada como média (1%-30% de dano) e alta (31%-100% de dano).

### 2.4 Pré-processamento espectral, calibração e validação dos modelos

A aquisição espectral foi realizada no modo de interatividade na faixa espectral de 285 a 1200 nm, com intervalo de amostragem de 3,0 nm e média de quatro varreduras por espectro utilizando uma fonte de luz xenon tungstênio. Apenas a faixa entre 402 a 1119 nm foi considerada para uso nos modelos, em decorrência da necessidade de retirada das extremidades devido ao elevado ruído espectral.

Para a realização das modelagens utilizou-se o *software* livre Weka v.3.8.6 (Waikato Environment For Knowledge Analysis), que apresenta uma série de algoritmos de preparação de dados, de aprendizado de máquina e de validação de modelos.

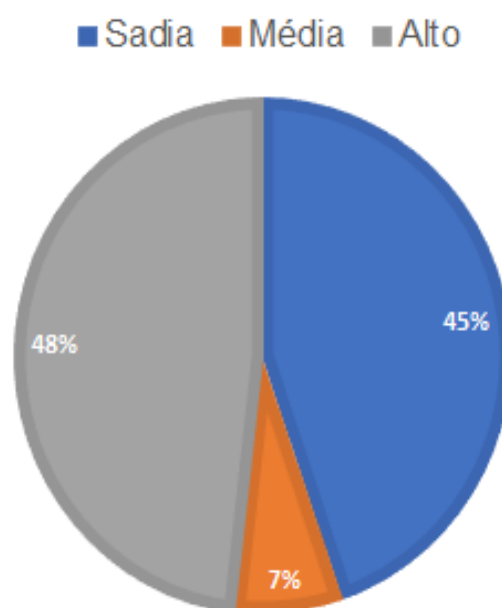
Separou-se uma fração de dados para a etapa da calibração e validação, que segundo Santos et al. (2019), as divisões mais utilizadas são 60:40, 70:30 ou 80:20. No presente estudo, foram utilizados 70% dos dados para treinamento dos algoritmos (387 Vis-NIR, 169 sadias, 24- média, 194 alta) e 30% para teste do desempenho preditivo dos modelos ajustados (140 leituras NIR, 67 sadias, 13 média e 60 alta). O *software* Weka realiza a separação dos dados de calibração e predição de forma casualizada, mantendo as porcentagens previamente estabelecidas para calibração e validação.

Os três algoritmos que apresentaram as melhores acurácias dentre os disponíveis no *software* foram aplicados nesta pesquisa: Simple Logistic, Bagging e Trees (Random Forest). A variável resposta foi um vetor com os fatores "sadia", "média" e "alta" dependendo se algum sintoma foi detectado quando a fruta foi cortada ao meio no final do armazenamento. As comparações entre os modelos foram feitas usando as seguintes métricas de classificação: porcentagem de acertos, precisão, sensibilidade e área sob a curva Roc.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Incidência da desordem corte negro

De acordo com os resultados, após as mangas atingirem a maturação de consumo com firmeza de polpa  $\leq 15N$ , as porcentagens de frutas sadias foram de 44,78%, enquanto que a porcentagem de frutas com sintomas de corte negro foi de 55,22%. Entre frutas com sintomas de corte negro, 48,20% das frutas apresentaram alta severidade e 7,02% apresentaram média severidade. Nenhum sintoma externo de corte negro foi visível no momento da colheita, assim como após as frutas atingirem a maturação de consumo.



**Figura 2.** Porcentagem mangas 'Tommy Atkins' sem sintomas (sadia) e com severidade média (1-30% da polpa apresentando sintomas) e alta severidade (31-100% da polpa apresentando sintomas) de corte negro após atingir a maturação de consumo com firmeza de polpa  $\leq 15N$ .

#### 3.2 Desenvolvimento de modelos para a predição dos sintomas de corte negro na colheita

As métricas encontradas na fase de calibração para os dados coletados na colheita se encontram na tabela 1. Todos os modelos apresentaram porcentagem de acertos superiores a 60%. Entretanto, nenhum dos algoritmos conseguiu diferenciar amostras com danos médios, classificando-as ora como frutas sadias ora como frutas com alta severidade.

Os resultados da calibração mostraram que, dentre os 3 modelos de classificação utilizados, o que apresentou os menores acertos foi o algoritmo Bagging. Diante dos resultados encontrados, os melhores modelos foram obtidos com o algoritmo Logistic que exibiu os melhores resultados para precisão e área roc para mangas sadias e com alta severidade de danos, assim como o Randon Forest que demonstrou maiores valores de porcentagem de acerto e sensibilidade para frutas sadias e frutas com alta severidade de corte negro.

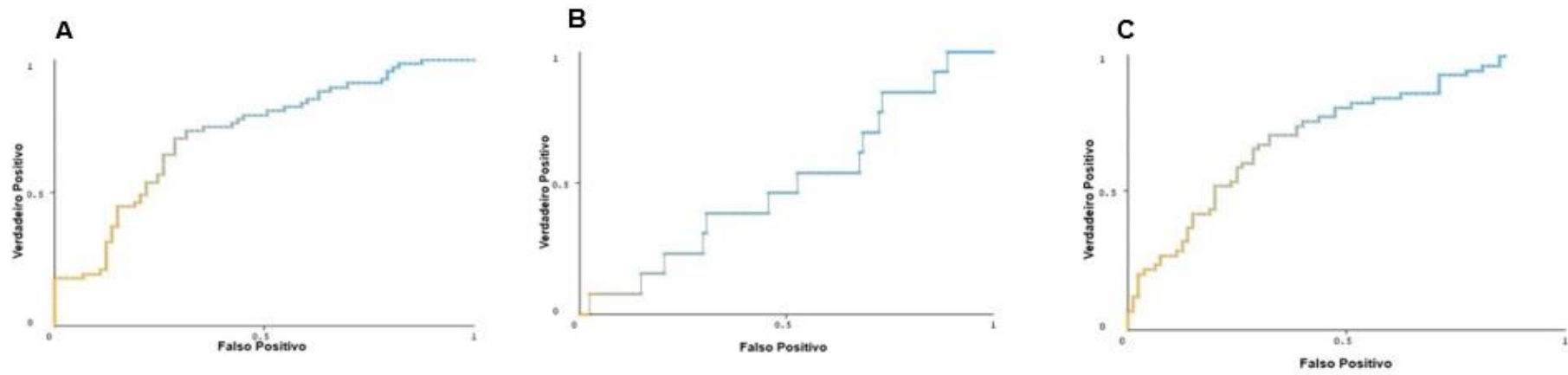
**Tabela 1.** Resultados do modelo de classificação na calibração para mangas ‘Tommy Atkins’ saudáveis ou com média e alta severidade de danos causados pela desordem fisiológica corte negro. Os dados espectrais usados correspondem a faixa entre 402 a 1119 nm, coletados na colheita.

|              | % Acertos | Calibração     |               |                |                     |                    |
|--------------|-----------|----------------|---------------|----------------|---------------------|--------------------|
|              |           | Área roc sadia | Área roc alta | Precisão sadia | Sensibilidade média | Sensibilidade alta |
| Logistic     | 68,81     | 0,80           | 0,54          | 0,73           | 0                   | 0,70               |
| Bagging      | 68,80     | 0,77           | 0,39          | 0,71           | 0                   | 0,67               |
| RandonForest | 69,72     | 0,79           | 0,45          | 0,72           | 0                   | 0,71               |

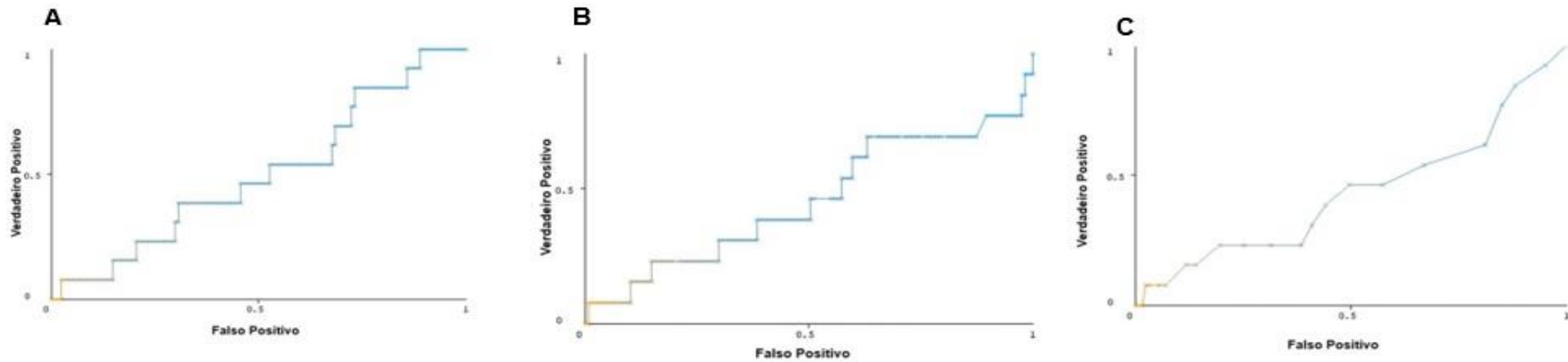
Os modelos gerados na fase de predição mostraram que, ao contrário do que ocorreu na fase de calibração, o modelo Randon Forest foi o que obteve menor eficiência dentre as métricas analisadas, dentre elas, menores valores para a área roc das amostras (Tabela 2). Esta fase identificou o modelo Logistic como o mais indicado para a predição, já que este melhor identificou frutas sadias e frutas com alta severidade de corte negro, além dos melhores valores para área roc para frutas sadias e frutas com alta severidade de corte negro (Figura 3,4 e 5).

**Tabela 2.** Resultados do modelo de classificação na predição para mangas ‘Tommy Atkins’ saudáveis ou com média e alta severidade de danos causados pela desordem fisiológica corte negro. Os dados espectrais usados correspondem a faixa entre 402 a 1119 nm, coletados na colheita.

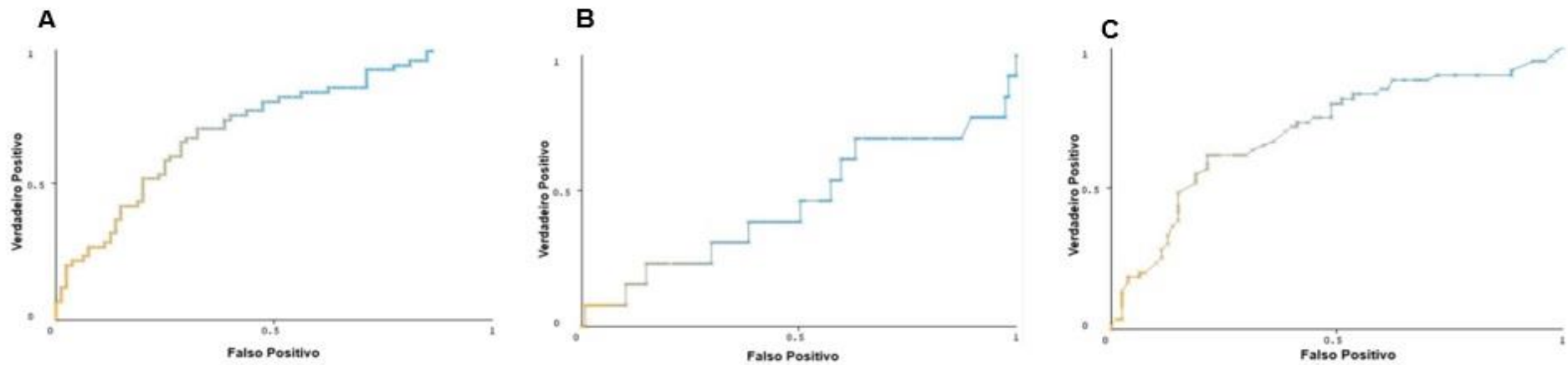
|              | % Acertos | Predição       |               |                |                     |                    |
|--------------|-----------|----------------|---------------|----------------|---------------------|--------------------|
|              |           | Área roc sadia | Área roc alta | Precisão sadia | Sensibilidade média | Sensibilidade alta |
| Logistic     | 64,29     | 0,74           | 0,54          | 0,71           | 0                   | 0,77               |
| Bagging      | 65,00     | 0,72           | 0,39          | 0,71           | 0                   | 0,72               |
| RandonForest | 60,71     | 0,72           | 0,45          | 0,70           | 0                   | 0,75               |



**Figura 3.** Resultado dos modelos de classificação Logistic (A), Bagging (B), Random Forest (C) para área roc para a fase de predição para mangas ‘Tommy Atkins’ saudáveis coletadas na colheita.



**Figura 4.** Resultado dos modelos de classificação Logistic (A), Bagging (B), Random Forest (C) para área roc para a fase de predição para mangas ‘Tommy Atkins’ com dano médio da desordem corte negro coletadas na colheita.



**Figura 5.** Resultado dos modelos de classificação Logistic (A), Bagging (B), Random Forest (C) para área roc para a fase de predição para mangas 'Tommy Atkins' com dano alto da desordem corte negro coletadas na colheita.

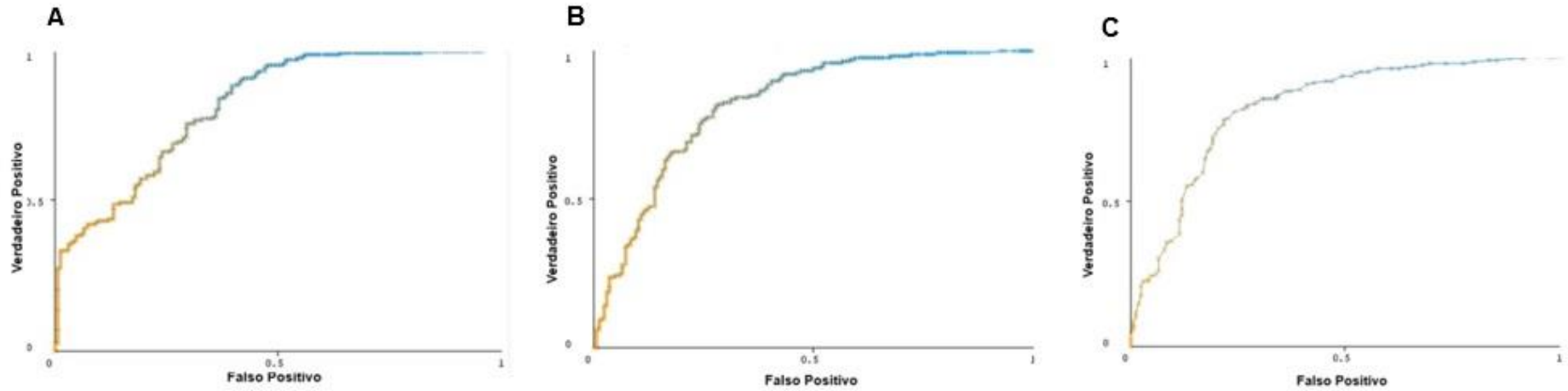
### 3.3 Desenvolvimento de modelo para a detecção de corte negro em mangas na maturação de consumo

As métricas encontradas na fase de calibração e predição para mangas na maturação de consumo estão apresentadas na Tabela 3. Os resultados mostram porcentagem de acertos superiores a 70%. Entretanto, não foi possível encontrar modelos eficientes para a detecção de amostras com média severidade de corte negro.

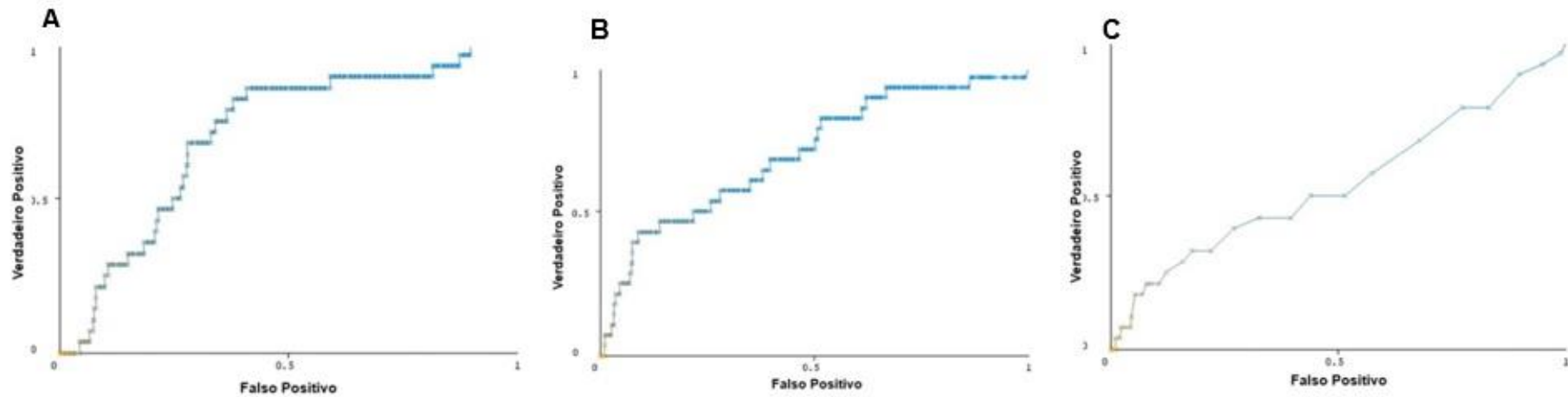
Os dados espectrais tanto da calibração quanto da predição mostram que o algoritmo Logistic foi o menos eficiente dentre os algoritmos testados. Já o Randon Forest mostrou-se o mais eficaz para os espectros coletados em mangas maduras, que mostra dentre as métricas, maiores valores para as áreas roc das amostras (Figura 6, 7 e 8). Este parâmetro indicou maior números de acertos, representado por maior detecção de verdadeiros positivos entre as amostras avaliadas.

**Tabela 3.** Resultados do modelo de classificação na calibração e predição para mangas ‘Tommy Atkins’ saudáveis ou com média e alta severidade de danos causados pela desordem fisiológica corte negro. Os dados espectrais usados correspondem a faixa entre 402 a 1119 nm, coletados na pós colheita.

|              | % Acertos | Calibração     |               |                |                     |                    |
|--------------|-----------|----------------|---------------|----------------|---------------------|--------------------|
|              |           | Área roc sadia | Área roc alta | Precisão sadia | Sensibilidade média | Sensibilidade alta |
| Logistic     | 74,64     | 0,81           | 0,81          | 0,69           | 0                   | 0,67               |
| Bagging      | 73,23     | 0,82           | 0,83          | 0,70           | 0                   | 0,70               |
| RandonForest | 74,66     | 0,83           | 0,83          | 0,74           | 0                   | 0,75               |
|              | % Acertos | Predição       |               |                |                     |                    |
|              |           | Área roc sadia | Área roc alta | Precisão sadia | Sensibilidade média | Sensibilidade alta |
| Logistic     | 68,27     | 0,81           | 0,80          | 0,68           | 0                   | 0,67               |
| Bagging      | 71,60     | 0,82           | 0,83          | 0,70           | 0                   | 0,69               |
| RandonForest | 73,41     | 0,83           | 0,83          | 0,73           | 0                   | 0,75               |

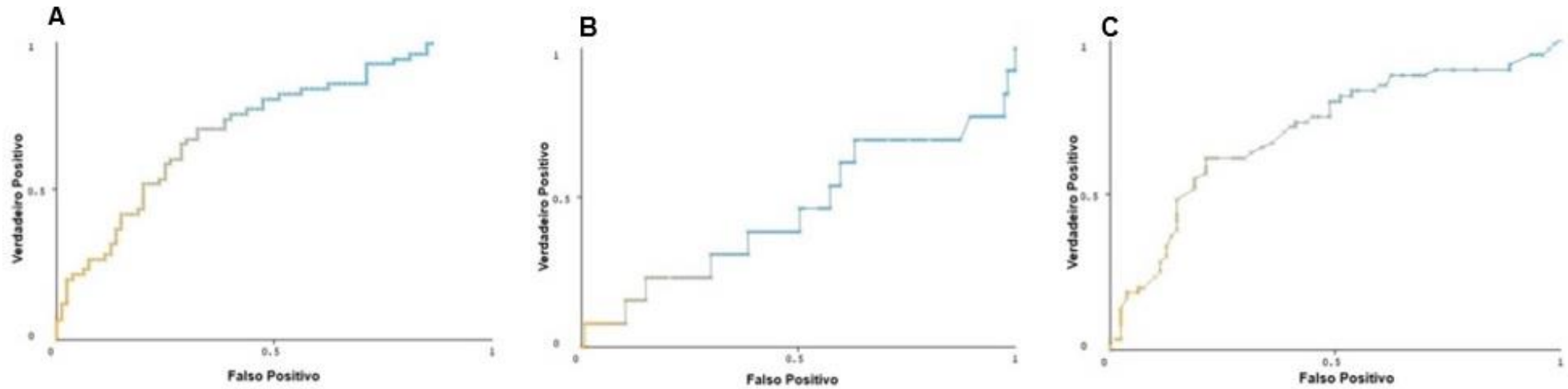


**Figura 6.** Resultado dos modelos de classificação Logistic (A), Bagging (B), Random Forest (C) para área roc para a fase de predição para mangas 'Tommy Atkins' saudáveis coletadas na pós colheita.



**Figura 7.** Resultado dos modelos de classificação Logistic (A), Bagging (B), Random Forest (C) para área roc para a fase de predição para mangas 'Tommy Atkins' com dano médio da desordem corte negro coletadas na pós-colheita.





**Figura 8.** Resultado dos modelos de classificação Logistic (A), Bagging (B), Random Forest (C) para área roc para a fase de predição para mangas ‘Tommy Atkins’ com dano alto da desordem corte negro coletadas na pós colheita.

#### 4. DISCUSSÃO

Os dados mostraram uma alta incidência da desordem fisiológica corte negro em mangas 'Tommy Atkins'. Segundo Mogollón et al. (2020), essa desordem fisiológica pode atingir até 100% das frutas, resultando em perda total da produção.

Tanto na colheita quanto após as frutas atingirem a maturação de consumo, nenhum dos modelos gerados foi eficiente para detectar a incidência de corte negro com baixa severidade, isto é comprovado pelos baixos valores das métricas nos modelos avaliados e também através de gráficos da curva Roc (receiver operator characteristic curve) que comparam falsos e verdadeiros positivos. Estas curvas Roc, permitem quantificar a exatidão de um teste diagnóstico, já que, esta é proporcional à área sob a curva ROC, isto é, tanto maior quanto mais a curva se aproxima do canto superior esquerdo do diagrama. Segundo Gabriëls et al. (2020), os modelos muitas vezes falham quando são usados para aplicação prática com os quais existe complexa variação dentro das frutas.

Na colheita, na fase de calibração, os modelos Simple Logistic e Random Forest apresentaram desempenhos semelhantes, com valores altos das métricas de porcentagem de acertos, valores de sensibilidade e precisão. Porém, comparando-se a fase de calibração e predição, o modelo que melhor se adequou as duas situações, e portanto, mais indicado na colheita para detectar desordens fisiológicas em mangas foi o Simple Logistic, o qual, apresentou melhores valores do modelo para porcentagem de acertos e predição de frutas sadias, assim como sensibilidade para frutas com alta severidade de corte negro na fase de predição. Isto é comprovado pelos maiores valores da área sob a curva Roc nas três classes comparadas.

Segundo Ihya et al. (2019), o algoritmo Simple Logistic é um modelo matemático usado para estimar a probabilidade de um evento ocorrer com base em dados anteriores. Este algoritmo também apresentou acurácia superior a 90 % na detecção de defeitos internos em maçãs decorrentes de danos mecânicos (Siedliska et al., 2014).

A comparação entre modelos desenvolvidos para frutas na colheita e para frutas na maturação de consumo, mostrou um melhor desempenho do modelo desenvolvido com o algoritmo Random Forest. Este modelo apresentou os maiores valores para porcentagem de acertos na predição de frutas sadias, maiores valores

para as áreas das curvas do Roc nas três classes de severidade avaliadas e uma alta sensibilidade a frutas apresentando alta severidade nos sintomas de corte negro.

Segundo Kale et al. (2021), o algoritmo Random Forest é um popular algoritmo de aprendizado de máquina supervisionado que usa árvores de decisão para sua implementação e pode ser utilizado tanto para desenvolver modelos de regressão quanto para desenvolver modelos de classificação. Larada et al. (2019) aplicaram três métodos de aprendizagem de máquina, dos quais, o Random Forest foi o que melhor classificou a qualidade de bananas através de características como cor e formato da fruta.

Gabriëls et al. (2020), em seu estudo sobre escurecimento de frutas, levanta uma problemática para o uso da tecnologia Vis-NIR na classificação de alto rendimento no dia a dia. Para estes autores, diante da ampla variedade de condições pré-colheita e pós-colheita em que manga são submetidas, modelos classificatórios necessitam se adequar as grandes diversidades de condições impostas antes e após a colheita, garantindo assim a alta sensibilidade dos espectrômetros Vis-NIR, e evitando o descarte de frutas sadias devido a erros do modelo de classificação.

No presente estudo, pode-se observar que é possível utilizar modelos precisos para detectar frutas maduras sadias e com sintomas de corte negro com mais de 70% de acertos, assim como é possível identificar frutas susceptíveis e não susceptíveis ao corte negro na colheita com acurácia superior a 60%. Porém, os mesmos modelos não conseguiram diferenciar frutas com baixa severidade de corte negro de frutas sadias ou de frutas com alta severidade desta desordem. Esse erro de classificação demonstra que existe a necessidade de novos estudos para melhorar o desempenho dos modelos na previsão e detecção de corte negro em mangas.

## **5. CONCLUSÕES**

A espectroscopia Vis-NIR pode ser utilizada como uma ferramenta não destrutiva para prever na colheita, bem como identificar nas frutas maduras a incidência de corte negro.

O modelo desenvolvido com o algoritmo Simple Logistic demonstrou maior precisão na colheita para a previsão da incidência de corte negro durante o armazenamento de mangas 'Tommy Atkins'.

O modelo desenvolvido com o algoritmo Random Forest demonstrou maior precisão para a identificação não destrutiva de mangas ‘Tommy Atkins’ maduras com sintomas de corte negro.

Novos estudos acerca da melhoria da eficácia e eficiência para a detecção de corte negro são necessários para reduzir a detecção incorreta de frutas sadias e evitar descartes desnecessários.

## 6.REFERÊNCIAS

ALZUBI, Jafar; NAYYAR, Anand; KUMAR, Akshi. Machine learning from theory to algorithms: an overview. In: **Journal of physics**: conference series. IOP Publishing, 2018. p. 012012.

BRASIL/MDIC/COMEX STAT – Estatísticas do Comércio Exterior Disponível em: <<http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>>. Acesso em: 23 de junho de 2023.

BETEMPS, D.L; RAMOS, R. F. Avaliações não destrutivas em pós-colheita. **Informe Agropecuário. Pós-Colheita**, Belo Horizonte, v.42, n.314, p.00-00, 2021

CARVALHO JÚNIOR, J. E. V. D; Matos Filho, C. H. A; Gomes, R. L. F; LOPES, Â. C. D. A; LIMA, M. A. C. D; & LIMA NETO, F. P. Genetic diversity among mango hybrids in the brazilian semiarid region. **Revista caatinga**, 34, 709-719, 2021.

CHENG, W; SØRENSEN, K. M; MONGI, R. J; NDABIKUNZE, B. K; CHOVE, B. E; SUN, D; ENGELSEN, S. B. A comparative study of mango solar drying methods by visible and near-infrared spectroscopy coupled with ANOVA-simultaneous component analysis (ASCA). *Lwt*, v. 112, p. 108214, 2019.

GABRIËLS, S. H; MISHRA, P; MENSINK, M. G; SPOELSTRA, P; & WOLTERING, E. J. Non-destructive measurement of internal browning in mangoes using visible and near-infrared spectroscopy supported by artificial neural network analysis. **Postharvest Biology and Technology**, v. 166, p. 111206, 2020.

GENTILE, C; DI GREGORIO, E; DI STEFANO, V; MANNINO, G; PERRONE, A; AVELLONE, G; SORTINO, G; INGLESE, P; FARINA, V. Food quality and nutraceutical value of nine cultivars of mango (*Mangifera indica* L.) fruits grown in Mediterranean subtropical environment. **Food Chem.** 2019, 277, 471–479.

GHOOSHKHANEH, N. G; GOLZARIAN, M. R; MOLLAZADE, K. VIS-NIR spectroscopy for detection of citrus core rot caused by *Alternaria alternata*. **Food Control**, v. 144, p. 109320, 2023.

HUANG, Y; LU, R; CHEN, K. Detection of internal defect of apples by a multichannel Vis/NIR spectroscopic system. **Postharvest Biology and Technology**, v. 161, p. 111065, 2020.

IHYA, R; NAMIR, A; FILALI, S. E; DAOUD, M. A; GUERSS, F. Z. J48 algorithms of machine learning for predicting user's the acceptance of an E-orientation systems. In: Proceedings of the 4th International Conference on Smart City Applications. 2019. p. 1-8.

LARADA, J. I; POJAS, G. J; FERRER, L. V. V. Postharvest classification of banana (*Musa acuminata*) using tier-based machine learning. **Postharvest biology and technology**, v. 145, p. 93-100, 2018.

MOGOLLÓN, R; CONTRERAS, C; DA SILVA NETA, M. L; MARQUES, E. J. N; ZOFFOLI, J. P; & DE FREITAS, S. T. Postharvest biology and technology non-destructive prediction and detection of internal physiological disorders in 'Keitt' mango using a hand-held Vis-NIR spectrometer. **Postharvest Biology and Technology**, v.167, p.1–7, 2020.

DOS SANTOS NETO, J. P; DE ASSIS, M. W. D; CASAGRANDE, I. P; JÚNIOR, L. C. C; DE ALMEIDA TEIXEIRA, G. H. Determination of 'Palmer' mango maturity indices using portable near infrared (VIS-NIR) spectrometer. **Postharvest Biology and Technology**, v. 130, p. 75-80, 2017.

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

Ntsoane, M. L; ZUDE-SASSE, M; MAHAJAN, P; & SIVAKUMAR, D. Quality assesment and postharvest technology of mango: A review of its current status and future perspectives. **Scientia Horticulturae**, v. 249, p. 77-85, 2019.

OZTURK, S; BOWLER, A; RADY, A; & WATSON, N. J. Near-infrared spectroscopy and machine learning for classification of food powders during a continuous process. **Journal of Food Engineering**, v. 341, p. 111339, 2023.

OSBORNE, B.G. Near infrared spectroscopy in food analysis BRI Australia Ltd, North Ryde, Australia. Copyright. Wiley, New York, pp.1-14 Chapter 1. 2000.

Paixão, M. V. S; Zinger, L; de Sousa, A. P; Neto, M. Z., & Fernandes, A. R. (2022). Produção de mudas poliembriônicas para porta enxerto de mangueiras. **Conjecturas**, 22(11), 999-1011.

RAGHAVENDRA, A; GURU, D. S; RAO, M. K. Mango internal defect detection based on optimal wavelength selection method using NIR spectroscopy. **Artificial Intelligence in Agriculture**, 5, 43-51, (2021).

SANTOS, H. G. D; NASCIMENTO, C. F. D; IZBICKI, R; DUARTE, Y. A. D. O; CHIAVEGATTO FILHO, P; & DIAS, A. Machine learning para análises preditivas em saúde: exemplo de aplicação para predizer óbito em idosos de São Paulo, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 35, p. e00050818, 2019.

SIEDLISKA, A; BARANOWSKI, P; & MAZUREK, W. Classification models of bruise and cultivar detection on the basis of hyperspectral imaging data. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 106, p. 66-74, 2014.

SILVA, F. R. Uma abordagem para Detecção de Outliers em Dados Categóricos. [s.l.] (Dissertação de Mestrado no Instituto de Computação) - Universidade Estadual de Campinas, 2004.

SOUZA, A. C. F; DE LIMA, J. R. F. TRANSMISSÃO DE PREÇOS DA MANGA BRASILEIRA ENTRE OS MERCADOS INTERNO E EXTERNO. **Revista Econômica do Nordeste**, 54(2), 90-102, 2023.

KALE, M. R; SHITOLE, M. S. Analysis of Crop disease detection with SVM, KNN and Random Forest classification. **Information Technology in Industry**, v. 9, n. 1, p. 364-372, 2021.

WANG, Z; KÜNNEMEYER, R; MCGLONE, A; & BURDON, J. Potential of Vis-NIR spectroscopy for detection of chilling injury in kiwifruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 164, p. 111160, 2020.

TAIRA, et al. Development of a nondestructive measurement system for mango fruit using near infrared spectroscopy. **Engineering and Applied Science Research**, v. 44, n. 3, p. 189-192, 2017.