



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA  
DOUTORADO EM FITOTECNIA

VALÉCIA NOGUEIRA SANTOS E SILVA

**ADUBAÇÃO FOSFATADA E MELATONINA NA AGREGAÇÃO DE VALOR EM  
BATATA-DOCE**

MOSSORÓ

2023

VALÉCIA NOGUEIRA SANTOS E SILVA

**ADUBAÇÃO FOSFATADA E MELATONINA NA AGREGAÇÃO DE VALOR EM  
BATATA-DOCE**

Tese apresentada ao Doutorado em Fitotecnia do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Doutor em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Práticas Culturais

Orientador: Prof. Dr. Aurélio Paes Barros Júnior

Co-orientador: Prof. Dr. Adriano do Nascimento Simões

MOSSORÓ

2023

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

N586aNogueira Santos e Silva, Valécia .  
ADUBAÇÃO FOSFATADA E MELATONINA NA AGREGAÇÃO  
DE VALOR EM BATATA-DOCE / Valécia Nogueira  
Santos e Silva. - 2023.  
106 f. : il.

Orientador: Aurélio Paes Barros Júnior.  
Coorientador: Adriano do Nascimento Simões.  
Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural do  
Semi-árido, Programa de Pós-graduação em  
Fitotecnia, 2023.

1. Ipomoea batatas. 2. fósforo. 3. melatonina.  
4. conservação. I. Paes Barros Júnior, Aurélio, orient.  
II. do Nascimento Simões, Adriano, co-orient. III.  
Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade  
com AACR2 e os dados fornecidos pelo autor(a).

Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência

Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva

CRB: 15/120

VALÉCIA NOGUEIRA SANTOS E SILVA

**ADUBAÇÃO FOSFATADA E MELATONINA NA AGREGAÇÃO DE VALOR EM  
BATATA-DOCE**

Tese apresentada ao Doutorado em Fitotecnia  
do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia  
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
como requisito para obtenção do título de  
Doutor em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Práticas Culturais

Defendida em: 01/12/2023.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Aurélio Paes Barros Júnior, Prof. D. Sc. (UFERSA)  
Presidente (Orientador)

---

Adriano do Nascimento Simões, Prof. D. Sc. (UFRPE/UAST)  
Examinador (Coorientador)

---

Daniel Alberto Jacobo-Velázquez, Prof. D. Sc. (TECNOLÓGICO DE MONTERREY)  
Examinador

---

Giuseppina Pace Pereira Lima, Prof<sup>a</sup>. D. Sc. (UNESP)  
Examinador

---

Fred Augusto Lourêdo de Brito, Prof. D. Sc. (UFERSA)  
Examinador

---

Flávio Pereira da Mota Silveira. D. Sc. (UFRN)  
Examinador

*Valdir Nogueira e Silva (In Memoriam).*

*À minha mãe, Laércia Rodrigues dos Santos Silva, por ser a minha melhor referência e o motivo maior para todas as minhas lutas. Sem você, nada disso seria possível.*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Durante minha formação tive a oportunidade de receber orientações e apoio de muitas pessoas e instituições. Quero manifestar meus agradecimentos sinceros a todos, com a certeza de que cada pessoa e cada instituição fizeram possível alcançar este objetivo.

Meus agradecimentos sinceros:

A minha mãe Laércia Rodrigues por todo amor, compreensão, palavras sábias, por ser minha fortaleza e meu maior exemplo de força e coragem, e por ensinar a importância do estudo na realização dos meus sonhos;

Aos meus irmãos Keline e Valdir Júnior, pelo apoio e pela ligação mais forte que já tive na vida e por me incentivarem a não desistir dos meus objetivos;

Aos meus sobrinhos Arthur, Marina, Heitor e Esaú, por serem as luzes da minha vida;

À minha família de um modo geral, por todos os ensinamentos e torcida;

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA);

À Pró-Reitoria de pesquisa e Pós-Graduação, pelo o apoio financeiro e incentivo à pesquisa;

Ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia (PGPF), pela oportunidade de realização do curso de doutorado;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa concedida;

A Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelos equipamentos utilizados;

A Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE/UAST) e ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PGPV) pela oportunidade de realizar parte do experimento e parte das análises do presente trabalho;

Aos professores Aurélio Paes Barros Júnior e Adriano do Nascimento Simões, pelas orientações, amizade e atenção, contribuindo para meu crescimento profissional. Seus conhecimentos e ensinamentos não são limitados apenas ao meio acadêmico, é um crescimento pessoal e profissional que são fundamentais para a formação do doutor;

Às Dr<sup>a</sup>. Kelem Fonseca e Lindomar Silveira pela contribuição, amizade e incentivo;

Ao Dr. Daniel Jacobo-Velázquez pela contribuição e parceria.

A todos os professores, funcionários e alunos do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da UFERSA e do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da UFRPE;

Ao Grupo de Pesquisa, Núcleo de Estudos em Fisiologia Pós-colheita de frutos e hortaliças e flores (NEFP) no qual tive o privilégio de conhecer pessoas que acompanharam e me apoiaram na realização das atividades desta pesquisa; um agradecimento especial a Aline Lima, Ariel Nogueira, Nathan Lucena, Sarah Alencar e Fred Lourêdo.

Ao Grupo de Estudos e Pesquisa em Produção Agrícola e Recursos Genéticos Vegetais (GEPPARG), pelo apoio na durante a etapa de campo do trabalho e pela amizade, em especial a Pablo Almeida, Welder Lopes, Gisele, Anna Kézia e Ester por toda a ajuda durante essa etapa;

Aos funcionários Flabênio, Nanan, Josimar e Isleique, que muito contribuíram nas atividades da pesquisa na Fazenda Experimental.

À Janaína Renata, Maria Aparecida, Allan e Danielle que sempre se fizeram tão presentes, e sem dúvidas suas palavras, ensinamento e atitudes foram essenciais para esta conquista;

Meus agradecimentos também àqueles que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho. Minha eterna gratidão!

## RESUMO GERAL

SILVA, Valécia Nogueira Santos e. **Adubação fosfatada e melatonina na agregação de valor em batata-doce**. 2023. p. Tese (Doutorado em Agronomia: Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2023.

As práticas pré e pós-colheita podem alterar a qualidade de raízes de batata-doce, influenciando sua capacidade de armazenamento. A adubação fosfatada é um dos fatores pré-colheita importantes para modular alguns distúrbios fisiológicos e biossíntese de compostos bioativos na pós-colheita da batata-doce após serem minimamente processadas, e a aplicação da melatonina pode promover acúmulo de compostos antioxidantes. O objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade e a conservação pós-colheita de raízes de batata-doce minimamente processadas e cultivadas no semiárido nordestino com diferentes níveis de adubação fosfatada e aplicação de melatonina exógena. No primeiro experimento foram aplicadas doses de Fósforo na cultivar Paraná. O segundo experimento foi com aplicação de melatonina em batata-doce de diferentes cores de polpa (branca e alaranjada), associando à tecnologia de processamento mínimo. Após a colheita, as raízes foram transportadas para o PGPV na UFRPE/UAST e submetidas ao processamento mínimo e mantidas a  $5 \pm 2$  °C. Os experimentos foram conduzidos em DBC (experimento 1) e DIC (experimento 2). O primeiro experimento foi em esquema fatorial 5x7, sendo 5 doses de fósforo (0; 60; 120; 180 e 240 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 6 tempos de avaliação (0, 4, 8, 12, 16 e 120 dias) com cinco repetições. O segundo experimento foi em esquema fatorial 4x6, sendo 4 concentrações de melatonina (0; 10; 100 e 1000 µmol L<sup>-1</sup>) e 6 tempos de avaliação (0; 4; 8; 12; 16 e 20 dias) com cinco repetições. Os resultados foram submetidos ao teste Tukey a 5% de probabilidade. O maior aporte de P no solo aumentou o teor de P nas raízes e folhas e o rendimento agroindustrial. Raízes cultivadas com P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> apresentaram maior teor de peróxido de hidrogênio, compostos fenólicos, vitamina C, flavonóides amarelos, antocianinas, carotenóides, capacidade antioxidante pelo método DPPH e aumento da atividade das enzimas polifenoloxidase, peroxidase e fenilalanina amônia-liase. A aplicação da melatonina exógena manteve a qualidade da batata-doce minimamente processada e apresentou menor índice de escurecimento, perda de massa fresca, menor teor de compostos fenólicos, peróxido de hidrogênio, peroxidação lipídica, extravazamento de eletrolitos e menor atividade das enzimas peroxidase, polifenoloxidase e fenilalanina amônia liase. Além de apresentarem maior teor de vitamina C e atividade das enzimas superóxido dismutase, catalase e ascorbato peroxidase.



Esses resultados demonstraram o papel da melatonina na proteção contra danos oxidativos devido ao acúmulo de compostos antioxidantes, melhorando assim a qualidade físico-química de batata-doce de polpa branca e laranja minimamente processada.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Ipomoea batatas*, fósforo, melatonina, conservação.

## ABSTRACT

SILVA, Valécia Nogueira Santos e. **Phosphate fertilization and melatonin in adding value in sweet potatoes.** 2023. p. Thesis (Doctorate in Agronomy: Phytotechnics) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2023.

Pre- and post-harvest practices can alter the quality of sweet potato roots, influencing their storage capacity. Phosphate fertilizer is one of the important pre-harvest factors to modulate some physiological disorders and biosynthesis of bioactive compounds in sweet potato post-harvest after being minimally processed, and the application of melatonin to promote accumulation of antioxidant compounds. The objective of this study was to evaluate the quality and post-harvest conservation of minimally processed sweet potato roots cultivated in the northeastern semi-arid region with different levels of phosphate fertilizer and application of exogenous melatonin. In the first experiment, five doses of phosphorus (0; 60; 120; 180 and 240 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) were applied to the Paraná cultivar. The second experiment was with the application of melatonin to sweet potatoes with different flesh colors (white and orange), associated with minimal processing technology. After harvesting, the roots were transported to the PGPV at UFRPE/UAST and subjected to minimal processing and maintained at 5 ± 2 °C. The experiments were conducted in DBC (experiment 1) and DIC (experiment 2). The first experiment was in a 5x7 factorial design, 5 doses of phosphorus and 6 days of evaluation (0, 4, 8, 12, 16 and 20 days) with three replications. The second experiment will be in a 4x6 factorial scheme, with 4 concentrations of melatonin (0; 10; 100 and 1000 µmol L<sup>-1</sup>) and 6 evaluation times (0; 4; 8; 12; 16 and 20 days) with three replications. O. The results were subjected to the Tukey test at 5% probability. The greater input of P into the soil increased the P content in roots and leaves and agroindustrial yield. Roots cultivated with P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> showed a higher content of hydrogen peroxide, phenolic compounds, vitamin C, yellow flavonoids, anthocyanins, carotenoids, antioxidant capacity by the DPPH method and increased activity of the enzymes polyphenol oxidase, peroxidase and phenylalanine ammonia-lyase. The application of exogenous melatonin maintained the quality of minimally processed sweet potatoes and showed a lower rate of browning, loss of fresh mass, lower content of phenolic compounds, hydrogen peroxide, lipid peroxidation, extravasation of electrolytes and lower activity of the enzymes peroxidase, polyphenoloxidase and phenylalanine ammonia lyase. In addition to having a higher vitamin C content and activity of the enzymes superoxide

dismutase, catalase and ascorbate peroxidase. These results demonstrated the role of melatonin in protecting against oxidative damage due to the accumulation of antioxidant compounds, thus improving the physicochemical quality of minimally processed white and orange pulp sweet potatoes.

**Keywords:** *Ipomoea batatas*, Phosphorus, Melatonin, Conservation.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO I: RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE BATATAS DOCES MINIMAMENTE PROCESSADAS CULTIVADA COM DOSES CRESCENTES DE FERTILIZANTE FOSFATADO

- Figura 1** Precipitação (mm), temperatura do ar (°C), umidade relativa (%) e velocidade do vento ( $m s^{-1}$ ) entre os meses de abril a agosto de 2021 no município de Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), 2021.....32
- Figura 2** - Fluxograma utilizado para raízes de batata-doce, adaptado de Silva et al. (2021).....35
- Figura 3** - (A) - Raízes de batata doce cv. Paraná cultivadas com diferentes teores de adubação fosfatada (0, 60, 120, 180 e 240  $kg ha^{-1}$  de  $P_2O_5$ ). (B) - Ilustrações de aparência visual e (C) Aparência de batata-doce minimamente processada após 8 dias de armazenamento, imediatamente retirada da embalagem (I) e posteriormente hidratada (II), cultivada em diferentes níveis de adubação fosfatada (0, 60, 120, 180 e 240  $kg ha^{-1}$  de  $P_2O_5$ ), minimamente processada e armazenada por 20 dias a  $5 \pm 2$  °C e  $90 \pm 5\%$  UR.....44
- Figura 4** - (A) - Perda de massa fresca (%), (B) - Avaliação visual (5-1) e (C) - Sólidos solúveis (°Brix), em raízes de batata-doce cv. Paraná cultivada em diferentes níveis de adubação fosfatada (0, 60, 120, 180 e 240  $kg ha^{-1}$  de  $P_2O_5$ ), minimamente processadas e armazenadas por 20 dias a  $5 \pm 2$  °C e  $90 \pm 5\%$  UR. As barras representam o desvio padrão da média. As letras representam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam os diferentes níveis de fertilização fosfatada e letras minúsculas comparam os dias de armazenamento.....46
- Figura 5** - (A) - Carotenóides totais ( $mg 100 g^{-1}$  MF), (B) -  $\beta$ -caroteno ( $mg 100 g^{-1}$  MF) e (C) - Licopeno ( $mg 100 g^{-1}$  MF), em raízes de batata-doce cv. Paraná cultivada em diferentes níveis de adubação fosfatada (0, 60, 120, 180 e 240  $kg ha^{-1}$  de  $P_2O_5$ ), minimamente processadas e armazenadas por 20 dias a  $5 \pm 2$  °C e  $90 \pm 5\%$  UR. As barras representam o desvio padrão da média. As letras representam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de

probabilidade. Letras maiúsculas comparam os diferentes níveis de fertilização fosfatada e letras minúsculas comparam os dias de armazenamento. ....48

**Figura 6** – (A) - Flavonóides amarelos (mg 100 g<sup>-1</sup> MF), (B) - Antocianinas (mg 100 g<sup>-1</sup> MF), em raízes de batata-doce cv. Paraná cultivada em diferentes níveis de adubação fosfatada (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), minimamente processadas e armazenadas por 20 dias a 5 ± 2 °C e 90 ± 5% UR. As barras representam o desvio padrão da média. As letras representam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam os diferentes níveis de fertilização fosfatada e letras minúsculas comparam os dias de armazenamento .....50

**Figura 7** – (A) - FRAP (mmol Fe<sup>+2</sup> kg<sup>-1</sup> MF) e (B) - Atividade de DPPH (%) em raízes de batata-doce cv. Paraná cultivada em diferentes níveis de adubação fosfatada (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), minimamente processadas e armazenadas por 20 dias a 5 ± 2 °C e 90 ± 5% UR. As barras representam o desvio padrão da média. As letras representam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam os diferentes níveis de fertilização fosfatada e letras minúsculas comparam os dias de armazenamento.....51

**Figura 8** – (A) - Vitamina C (mg de ácido ascórbico g<sup>-1</sup> MF), (B) - Fenóis solúveis totais (mg de ácido gálico 100 g<sup>-1</sup> MF) em raízes de batata-doce cv. Paraná cultivada em diferentes níveis de adubação fosfatada (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), minimamente processadas e armazenadas por 20 dias a 5 ± 2 °C e 90 ± 5% UR. As barras representam o desvio padrão da média. As letras representam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam os diferentes níveis de fertilização fosfatada e letras minúsculas comparar dias de armazenamento. ....53

**Figura 9** – (A) - Teor de TBARS (µmol g<sup>-1</sup> MF), (B) - Vazamento de eletrólitos (%), (C) - Teor de peróxido de hidrogênio (g 100 g<sup>-1</sup> MF) em raízes de batata-doce cv. Paraná cultivada em diferentes níveis de adubação fosfatada (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), minimamente processadas e armazenadas por 20 dias a 5 ± 2 °C e 90 ± 5% UR. As barras representam o desvio padrão da média. As

letras representam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam os diferentes níveis de fertilização fosfatada e letras minúsculas comparam os dias de armazenamento.

.....55

**Figura 10** – Detecção de peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) nos dias 0, 8 e 20 de armazenamento, por infiltração a vácuo com tetracloridrato de diaminobenzidina (DAB) + ascorbato (controle) e apenas DAB, em segmentos (0-5 mm) de raízes de batata-doce cv. Paraná cultivada sob diferentes níveis de adubação fosfatada (0, 60, 120, 180 e 240  $kg\ ha^{-1}$  de  $P_2O_5$ ), minimamente processadas e armazenadas por 20 dias a  $5 \pm 2\ ^\circ C$  e  $90 \pm 5\%$  UR..

.....57

**Figura 11** – (A) atividade da Peroxidase - POD ( $\mu mol$  de guaiacol  $min^{-1}\ kg^{-1}$  de MF), (B) atividade da Polifenoloxidase - PPO ( $\mu mol$  de catecol  $min^{-1}\ kg^{-1}$  de MF) e fenilalanina amônia liase – PAL ( $\mu mol\ min^{-1}\ g^{-1}$  MF) em raízes de batata-doce cv. Paraná cultivada em diferentes níveis de adubação fosfatada (0, 60, 120, 180 e 240  $kg\ ha^{-1}$  de  $P_2O_5$ ), minimamente processadas e armazenadas por 20 dias a  $5 \pm 2\ ^\circ C$  e  $90 \pm 5\%$  UR. As barras representam o desvio padrão da média. As letras representam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam os diferentes níveis de fertilização fosfatada e letras minúsculas comparam os dias de armazenamento.....59

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO II - AÇÃO ANTI-ESCURRIMENTO DA MELATONINA DEPENDE DO TIPO DE TECIDO EM BATATA-DOCE MINIMAMENTE PROCESSADA

- Figura 1** – Fluxograma utilizado para raízes de batata-doce, adaptado de Silva et al. (2021). Com imersão em solução aquosa de melatonina resfriada a 5 °C, nas concentrações de 0, 10, 100 e 1000  $\mu\text{mol L}^{-1}$ , armazenada a  $5 \pm 2$  °C e  $90 \pm 5\%$  UR, por 20 dias.....72
- Figura 2** - Avaliação visual (5-1) (A, polpa branca) (B, polpa laranja), perda de peso fresco (%) (C, polpa branca) (D, polpa laranja) e sólidos solúveis (°BRIX) (E, polpa branca) (F, polpa de laranja) em raízes de batata-doce de polpa branca e polpa de laranja tratadas com diferentes concentrações de melatonina (0, 10, 100 e 1000  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ), minimamente processadas e armazenadas por 20 dias a  $5 \pm 2$  °C e  $90 \pm 5\%$  UR. As barras representam o desvio padrão da média. As letras representam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade..... 82
- Figura 3** – Ilustrações do aspecto visual de raízes de batata-doce de polpa branca e polpa laranja tratadas com diferentes concentrações de melatonina (0, 10, 100 e 1000  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ), minimamente processadas e armazenadas por 20 dias a  $5 \pm 2$  °C e  $90 \pm 5\%$  RH.....83
- Figura 4** – Flavonóides amarelos ( $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$  MF) (A, polpa branca) (B, polpa laranja), antocianinas ( $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$  MF) (C, polpa branca) (D, polpa laranja) e carotenóides totais ( $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$  MF) (E, polpa branca) (F, polpa de laranja) em raízes de batata-doce de polpa branca e polpa de laranja tratadas com diferentes concentrações de melatonina (0, 10, 100 e 1000  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ), minimamente processadas e armazenadas por 20 dias a  $5 \pm 2$  °C e  $90 \pm 5\%$  UR. As barras representam o desvio padrão da média. As letras representam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.....84

- Figura 5** – Eliminação de DPPH (%) (A, polpa branca) (B, polpa laranja) e FRAP (mmol  $\text{Fe}^{+2} \text{g}^{-1} \text{MF}$ ) (C, polpa branca) (D, polpa laranja) em raízes de batata-doce de polpa branca e polpa laranja tratadas com diferentes concentrações de melatonina (0, 10, 100 e 1000  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ), minimamente processadas e armazenadas por 20 dias a  $5 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $90 \pm 5\%$  UR. As barras representam o desvio padrão da média. As letras representam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade..... 86
- Figura 6** – Fenóis solúveis totais (mg de ácido gálico  $100 \text{g}^{-1} \text{MF}$ ) (A, polpa branca) (B, polpa de laranja) e teor de vitamina C (mg de ácido ascórbico  $\text{g}^{-1} \text{MF}$ ) (C, polpa branca) (D, laranja polpa) em raízes de batata-doce de polpa branca e polpa de laranja tratadas com diferentes concentrações de melatonina (0, 10, 100 e 1000  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ), minimamente processadas e armazenadas por 20 dias a  $5 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $90 \pm 5\%$  UR. As barras representam o desvio padrão da média. As letras representam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.....87
- Figura 7** – Peróxido de hidrogênio ( $\mu\text{mol g}^{-1} \text{MF}$ ) (A, polpa branca) (B, polpa laranja), teor de TBARS ( $\mu\text{mol g}^{-1} \text{MF}$ ) (C, polpa branca) (D, polpa laranja) e vazamento de eletrólitos (%) (E, polpa branca) (F, polpa laranja) em raízes de batata-doce de polpa branca e polpa laranja tratadas com diferentes concentrações de melatonina (0, 10, 100 e 1000  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ), minimamente processadas e armazenadas por 20 dias a  $5 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $90 \pm 5\%$  de umidade relativa. As barras representam o desvio padrão da média. As letras representam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. .... 88
- Figura 8** – Atividade de catalase - CAT ( $\mu\text{mol de H}_2\text{O}_2 \text{min}^{-1} \text{g}^{-1} \text{MF}$ ) (A, polpa branca) (B, polpa de laranja), Atividade de ascorbato peroxidase - APX ( $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{min}^{-1} \text{g}^{-1} \text{MF}$ ) (C, polpa branca) (D, polpa de laranja) e atividade da superóxido dismutase - SOD ( $\text{U g}^{-1} \text{MF}$ ) (E, polpa branca) (F, polpa de laranja) em raízes de batata doce de polpa branca e polpa de laranja tratadas com diferentes concentrações de melatonina (0, 10, 100 e 1000  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ),



minimamente processadas e armazenadas por 20 dias a  $5 \pm 2$  °C e  $90 \pm 5\%$  UR. As barras representam o desvio padrão da média. As letras representam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.....89

**Figura 9** – Atividade de polifenoloxidase - PPO ( $\mu\text{mol de catecol min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ ) (A, polpa branca) (B, polpa de laranja), Atividade de peroxidase - POD ( $\mu\text{mol de guaiacol min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ ) (C, polpa branca) (D, polpa de laranja) e atividade da fenilalanina amônia liase - PAL ( $\mu\text{mol min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ ) (E, polpa branca) (F, polpa de laranja) em raízes de batata doce de polpa branca e polpa de laranja tratadas com diferentes concentrações de melatonina (0, 10, 100 e 1000  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ), minimamente processadas e armazenadas por 20 dias a  $5 \pm 2$  °C e  $90 \pm 5\%$  UR. As barras representam o desvio padrão da média. As letras representam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade..... 90

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO I: RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE BATATAS DOCES MINIMAMENTE PROCESSADAS CULTIVADA COM DOSES CRESCENTES DE FERTILIZANTE FOSFATADO

- Tabela 1** – Análise química do solo da área experimental da Fazenda Experimental Rafael Fernandes, em Mossoró - RN, Brasil.....33
- Tabela 2** – Escala tipo Likert com cinco pontos para análise visual de batata-doce de polpa alaranjada minimamente processada em formato ‘rodela’.....36
- Tabela 3** – Rendimento agroindustrial (%) e teor de fósforo ( $\text{g kg}^{-1}$ ) em diferentes partes da planta de batata-doce cv. Paraná submetida a diferentes níveis de adubação fosfatada (0, 60, 120, 180 e 240  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ). As letras representam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam os diferentes níveis de fertilização fosfatada.....44

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO II - A AÇÃO ANTI-ESCURRIMENTO DA MELATONINA DEPENDE DO TIPO DE TECIDO DAS BATATAS MINIMAMENTE PROCESSADAS

- Tabela 1** – Escala tipo Likert com cinco pontos para análise visual de batata-doce de polpa alaranjada minimamente processada em formato ‘rodela’....73
- Tabela 2** – Escala tipo Likert com cinco pontos para análise visual de batata-doce de polpa branca minimamente processada em formato ‘rodela’ .....74

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	21
REFERÊNCIAS.....	24
<b>CAPÍTULO I: RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE BATATA-DOCE MINIMAMENTE PROCESSADAS CULTIVADA COM DOSES CRESCENTES DE FERTILIZANTE FOSFATADO</b> .....	29
<b>ABSTRACT</b> .....	29
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	30
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	32
2.1 Caracterização e gestão da área experimental .....	32
2.2 Colheita, processamento mínimo e armazenamento .....	34
2.3 Rendimento agroindustrial e teor de fósforo .....	35
2.4 Avaliação visual (aspecto geral), perda de massa fresca e sólidos solúveis totais.....	36
2.5 Carotenóides totais, licopeno e $\beta$ -caroteno.....	37
2.6 Determinação de flavonóides e antocianinas amarelas e obtenção de extratos para teste in vitro de atividade antioxidante (DPPH e FRAP).....	38
2.7 Fenóis solúveis totais e vitamina C .....	39
2.8 Extravasamento de eletrólitos, detecção e quantificação de peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica.....	40
2.9 Extrações e ensaios enzimáticos .....	41
2.9.1 Fenilalanina Amônia Liase (PAL).....	41
2.9. 2 Polifenol oxidase (PPO) e peroxidase (POD).....	42
2.10 Delineamento experimental e análise estatística.....	42
<b>3 RESULTADOS</b> .....	43
3.1 Aparência, teor de fósforo e rendimento agroindustrial.....	43
3.2 Perda de massa fresca, sólidos solúveis e avaliação visual.....	45
3.3 Carotenóides totais, $\beta$ -caroteno e licopeno.....	47
3.4 Flavonóides Amarelos, Antocianinas .....	49
3.5 Capacidade antioxidante (DPPH e FRAP).....	51
3.6 Vitamina C e compostos fenólicos totais .....	52
3.7 TBARS, vazamento de eletrólitos e conteúdo de peróxido de hidrogênio.....	54
3.8 Detecção de $H_2O_2$ .....	56

3.9 Atividade da Peroxidase (POD), polifenoloxidase (PPO) e fenilalanina amônia (PAL).....	57
<b>4 DISCUSSÃO .....</b>	<b>60</b>
<b>5 CONCLUSÕES.. .....</b>	<b>63</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>64</b>
<b>CAPÍTULO II: AÇÃO ANTI-ESCURRIMENTO DA MELATONINA DEPENDE DO TIPO DE TECIDO DAS BATATAS MINIMAMENTE PROCESSADAS.....</b>	<b>68</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>68</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>69</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>71</b>
2.1 Avaliação visual (aspecto geral), perda de massa fresca e sólidos solúveis totais.....	71
2.2 Extravasamento de eletrólitos, quantificação de peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica.....	75
2.3 Extrações e ensaios enzimáticos .....	75
2.3.1 Superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX).....	76
2.3.2 Fenilalanina Amônia Liase (PAL).....	76
2.3.3 Polifenol oxidase (PPO) e peroxidase (POD).....	
2.4 Flavonóides amarelos, antocianinas, carotenóides totais e determinações e obtenção de extratos para teste in vitro de atividade antioxidante (DPPH e FRAP).....	78
2.5 Fenóis solúveis totais e vitamina C .....	80
2.6 Delineamento experimental e análise estatística.....	80
<b>3 RESULTADOS.....</b>	<b>81</b>
3.1 Avaliação visual (aparência geral), perda de massa fresca e sólidos solúveis totais ...	81
3.2 Conteúdo de peróxido de hidrogênio, conteúdo de TBARS e vazamento de eletrólitos.	83
3.3 Atividades da CAT, APX, SOD, PPO, POD e PAL .....	85
3.4 Extração e Teste In Vitro de Atividade Antioxidante (DPPH e FRAP).....	87
3.5 Compostos fenólicos solúveis totais e vitamina C .....	88
3.6 Flavonóides amarelos, antocianinas e carotenóides totais .....	89
<b>4 DISCUSSÃO .....</b>	<b>91</b>
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>95</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>96</b>

## INTRODUÇÃO GERAL

A batata-doce é a única espécie da família Convolvulaceae que é utilizada tanto na nutrição humana quanto animal, as demais espécies desta família são comumente utilizadas como plantas ornamentais na Ásia, África e Austrália (ECHER, 2015; HALL; PHATAK, 1993). Possui grande potencial econômico e social, desempenhando um papel importante na nutrição humana, contribuindo para a suplementação alimentar nos países em desenvolvimento. O valor nutricional das raízes da batata-doce é semelhante ao da mandioca ou da batata inglesa, porém apresenta teores mais elevados de  $\beta$ -caroteno, devido a algumas cultivares apresentarem coloração amarela, laranja e até roxa, ricas neste precursor da vitamina A (BOVELL-BENJAMIN, 2008).

A batata-doce tem uso culinário doméstico e também pode servir como matéria-prima para processos industriais, produzindo doces, farinhas, flocos e amido. Devido ao seu alto teor de amido, apresenta potencial para ser cultivado para fins industriais (ROESLER et al., 2008). No Brasil, o uso industrial da batata-doce ainda é limitado, sendo a maior parte consumida cozida. Em relação à produção, cerca de 40% das raízes não estão em boas condições para comercialização.

Comparada a outros alimentos ricos em amido, a batata-doce apresenta maior teor de massa seca, carboidratos, lipídios, cálcio e fibras que a batata, mais carboidratos e lipídios que o inhame e mais proteínas que a mandioca (EMBRAPA, 2008). Segundo maior teor de carboidratos, variando entre 25% e 30%, dos quais 98% são de fácil digestão, açúcares, sais minerais, vitaminas A, C e do complexo B, sendo rica fonte de nutrientes e energia (OLIVEIRA et al., 2006), também possui elevadas quantidades de potássio, ferro e cálcio (LUENGO, et al., 2000), além de possuir baixo índice glicêmico. Apresenta também quantidades consideráveis de metionina, um dos aminoácidos essenciais para o bem-estar humano (MIRANDA et al., 1989). Verificou-se que cerca de 80% da matéria seca da batata-doce são carboidratos, tornando-a uma importante fonte desses macronutrientes. Tendo o amido como principal carboidrato presente, é amplamente utilizado como matéria-prima na indústria de fabricação de alimentos (BOVELL-BENJAMIN, 2007). Além disso, contém açúcares como sacarose, frutose, maltose e glicose (CEREDA et al., 2001; OLIVEIRA et al., 2006).

A qualidade de um produto é reflexo de sua origem, condições de produção, armazenamento e comercialização, ou seja, quando a combinação de componentes físicos e químicos atinge o nível de aceitação do consumidor. Para isso, os cuidados devem começar desde o campo, pois as condições ambientais e de cultivo influenciam diretamente nas características dos produtos hortícolas na fase pós-colheita e conseqüentemente nas tecnologias utilizadas nesta fase (CHITARRA, 1998).

O macronutriente fósforo está presente nas plantas, principalmente na forma de ortofosfato e tem como principal função a transdução de energia. Durante o fluxo de elétrons na cadeia transportadora de elétrons das mitocôndrias e do cloroplasto, a energia livre está associada à oxidação dos componentes da cadeia, sendo convertida na forma de ATP (GLASS, 1989). Segundo Song et al., (2006) o ATP extracelular funciona como molécula sinalizadora em condições de alterações associadas ao estresse e lesões nos tecidos vegetais.

Estudos recentes indicam que após a aplicação da ferida, o ATP é liberado das células danificadas, servindo assim como sinal primário da ferida, espalhando-se, até se ligar à membrana plasmática dos receptores de ATP das células adjacentes (JACOBO-VELAZQUEZ et al., 2011). A ligação do ATP à membrana celular, através do receptor de ATP, promove aumento da concentração citosólica de  $Ca^{2+}$ , que por sua vez ativa a NADPH oxidase, resultando na produção de moléculas sinalizadoras secundárias (espécies reativas de oxigênio - EROS) (JACOBO-VELAZQUEZ, GONZALEZ-AGÜERO, & CISNEROS-ZEVALLOS, 2015). Tais sinais secundários se propagam pelo citosol, desencadeando a biossíntese de compostos antioxidantes (compostos fenólicos) como resposta tardia ao estresse (JACOBO-VELAZQUEZ et al., 2011; CISNEROS-ZEVALLOS et al., 2014). As fontes de EROS incluem a redução da nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato (NADPH) oxidase, localizada na membrana celular, e a respiração, que ocorre nas mitocôndrias, que produzem o radical superóxido ( $O_2^-$ ) que por sua vez é transformado em oxigênio ( $O_2$ ) e peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) pela superóxido dismutase (SOD). Altos níveis de EROS são prejudiciais às plantas, portanto, a atividade de enzimas desintoxicantes, como SOD, ascorbato peroxidase (APX) e catalase (CAT) são de grande relevância para a modulação de tais espécies (GILL & TUTEJA 2010; TAIZ et. al., 2017).

A melatonina (N-acetil-5-metoxitriptamina) é um hormônio conhecido que medeia muitos processos biológicos em animais. Desde a sua identificação em plantas por dois grupos de pesquisa em 1995, a melatonina atraiu ampla atenção entre os

biólogos vegetais (DUBBELS et al., 1995; HATTORI et al., 1995). Foi demonstrado que a melatonina está envolvida no crescimento, desenvolvimento e respostas ao estresse nas plantas. Como eliminadora de radicais livres, a melatonina é capaz de eliminar EROs diretamente nos compartimentos celulares, mitigando assim o estresse oxidativo nas plantas (REITER et al., 2015). Além disso, a melatonina protege as plantas contra uma variedade de estresses ambientais, como frio, calor, salinidade e seca (BAJWA et al., 2014; SHI et al., 2015; DING et al., 2017) e pode retardar a senescência como estimulante biológico (TAL et al., 2011; ZHANG et al., 2013; WANG et al., 2014).

Estudos demonstraram que a ingestão de produtos melatonínicos ou de plantas comestíveis ricas em melatonina pode ter efeitos benéficos no retardo do envelhecimento, na regulação do ritmo biológico, no efeito antiinflamatório, no combate ao câncer e na melhora da disfunção fisiológica (REITER et al., 2010; MAURIZ et al., 2013; CARRILLO-VICO et al., 2013; GARCIA et al., 2015). A melatonina tem mostrado boas perspectivas na regulação do amadurecimento dos frutos e na prevenção de doenças pós-colheita nas lavouras (ZHAI et al., 2018; LIU et al., 2020). Foi determinado que a melatonina tem grande potencial para promover a qualidade pós-colheita em vegetais e frutas (XU et al., 2019), como pêssego (GAO et al., 2016; CAO et al., 2016, 2018), uva (MENG et al., 2016; CAO et al., 2016, 2018), uva (MENG et al., 2016; CAO et al., 2016, 2018), al., 2016), maçã (CHEN et al., 2020), morango (AGHDAM et al., 2017; PANG et al., 2020), repolho (ZHANG et al., 2016), mandioca (HU et al., 2016; MA et al., 2016) e batata-doce (LI et al., 2022).

Esta pesquisa teve como objetivo estudar a utilização de doses crescentes de  $P_2O_5$  e a aplicação de melatonina exógena, como moduladores agronômicos e na indução de compostos bioativos, respectivamente, em batata-doce minimamente processada.



## REFERÊNCIAS

- AGHDAM, M.S.; FARD, J.R. Melatonin treatment attenuates postharvest decay and maintains nutritional quality of strawberry fruit (*Fragaria×anannasa* cv. Selva) by enhancing GABA shunt activity. **Food Chemistry**. 221, 1650–1657, 2017.
- BAJWA, V.S.; SHUKLA, M.R.; SHERIF, S.M.; MURCH, S.J.; SAXENA, P.K. Role of melatonin in alleviating cold stress in *Arabidopsis thaliana*. **Journal of Pineal Research** 56, 238–245, 2014.
- BOVELL-BENJAMIN, A.C. Sweet Potato: A Review of Its Past, Present, and Future Role in Human Nutrition. **Advances in Food and Nutrition Research**. 52, 1-59, 2007.
- CARRILLO-VICO, A.; LARDONE, P.J.; ALVAREZ-SANCHEZ, N.; RODRIGUEZ-RODRIGUEZ, A.; GUERRERO, J.M. Melatonin: buffering the immune system. **International Journal of Molecular Sciences**. 14:8638–8683, 2013.
- CEREDA, M.P.; FRANCO, C.M.L.; DAIUTO, E.R.; DEMIATE, J.M.; CARVALHO, L.J.C.B.; LEONEL, M.; VILPOUX, D.F.; SARMENTO, S.B.S. **Propriedades gerais do amido**. Campinas, Fundação Cargill, 2001.
- CHITARRA, M.I.F. **Fisiologia e qualidade de produtos vegetais**. In: BOREN, F.M. (Ed.). Armazenamento e processamento de produtos agrícolas. Lavras: Ufla/SBEA. p.1-57, 1998.
- CHEN, Y.; ZHANG, Y.; NAWAZ, G.; ZHAO, C.; LI, Y.; DONG, T.; ZHU, M.; DU, X.; ZHANG, L.; LI, Z.; XU, T. Exogenous Melatonin Attenuates Post-Harvest Decay by Increasing Antioxidant Activity in Wax Apple (*Syzygium samarangense*) **Frontiers in Plant Science**, 2020.
- CAO, K.; ZHOU, Z.; WANG, Q.; GUO, J.; ZHAO, P.; ZHU, G. et al. Genome-wide association study of 12 agronomic traits in peach. **Nature Communications**. 7, 13246, 2016.
- CISNEROS-ZEVALLOS, L., JACOBO-VELAZQUEZ, D. A., PECH, J. C., & KOIWA, H. Signaling molecules involved in the postharvest stress response of plants. In M. Pessarakli (Ed.), **Handbook of plant and crop physiology**. ed.9, p. 259-276, 2014.
- DING, F.; WANG, M.; LIU, B.; ZHANG, S. Exogenous melatonin mitigates photoinhibition by accelerating non-photochemical quenching in tomato seedlings exposed to moderate light during chilling. **Frontiers in Plant Science**. 8, 244, 2017.

DUBBELS, R.; REITER, R.J.; KLENKE, E.; GOEBEL, A.; SCHNAKENBERG, E.; EHLERS, C.; SCHIWARA, H.W.; SCHLOOT, W. Melatonin in edible plants identified by radioimmunoassay and high performance liquid chromatography-mass spectrometry. **Journal of Pineal Research**. 18:28–31, 1995.

ECHER, F.R. **Nutrição e adubação da batata-doce**. Presidente Prudente: Universidade do Oeste Paulista. 94p, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças. **Cultivo da batata-doce (*Ipomoea batatas*)**. Sistemas de Produção, 6. 2008. Disponível em: [http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Batatadoce/Batatadoce\\_Ipomoea\\_batatas/referencias.html](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Batatadoce/Batatadoce_Ipomoea_batatas/referencias.html).

GARCÍA, J.A.; HUAYQUI VOLT, H.; CARMEN VENEGAS, C.; CAROLINA DOERRIER, C.; ESCAMES, G.; LÓPEZ, L.C.; ACUÑA-CASTROVIEJO, D. Disruption of the NF- $\kappa$ B/NLRP3 connection by melatonin requires retinoid-related orphan receptor- $\alpha$  and blocks the septic response in mice. **FASEB J**. 29(9):3863-75, 2015.

GLASS, A.D.M. Plant Nutrition. In: JONES, L. 7 BERTLETT, A. (eds.) An Introduction to Current Concepts. Boston: **Academic Press**. p. 234-254, 1989.

GILL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology Biochemistry**. v. 48, n. 12, p. 909-930, 2010.

GAO, H.; ZHANG, Z. K.; CHAI, H. K.; CHENG, N.; YANG, Y.; WANG, D. N.; ... CAO, W. Melatonin treatment delays postharvest senescence and regulates reactive oxygen species metabolism in peach fruit. **Postharvest Biology and Technology**. 118, 103–110, 2016.

HALL, M.R.; PHATAK, S.C. Sweet potato *Ipomoea batatas* (L.) Lam. In: KALLOO, G.; BERGH, B.O. **Genetic improvement of vegetable crops**. New York, Pergamon Press. p.693-708, 1993.

HATTORI, J.; BROWN, D.; MOURAD, G.; LABBÉ, H.; OUELLET, T.; SUNOHARA, G.; RUTLEDGE, R.; KING, J.; MIKI, B. An acetohydroxy acid synthasemutant reveals a single site involved in multiple herbicide resistance. **Molecular & General Genetics**. v.246, n.4, p.419-425, 1995.

HU, W.; KONG, H.; GUO, Y.; ZHANG, Y.; DING, Z.; TIE, W.; YAN, Y.; HUANG, Q.; PENG, M.; SHI, H.; GUO, A. Comparative physiological and transcriptomic

analyses reveal the actions of melatonin in the delay of postharvest physiological deterioration of Cassava. **Frontiers in Plant Science**. 7, 736, 2016.

JACOBO-VELÁZQUEZ, D. A.; MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, G. B.; RODRIGUEZ, S. D. C.; CAO, C. M.; CISNEROS-ZEVALLOS, L. Plants as biofactories: physiological role of reactive oxygen species on the accumulation of phenolic antioxidants in carrot tissue under wounding and hyperoxia stress. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 59, 6583-6593, 2011.

JACOBO-VELÁZQUEZ, D. A.; GONZÁLEZ-AGÜERO, M.; CISNEROS-ZEVALLOS, L. Cross-talk between signaling pathways: the link between plant secondary metabolite production and wounding stress response. **Scientific reports**. v. 5, p. 8608, 2015.

LIN, K. H., LAI, Y. C.; CHANG, K. Y.; CHEN, Y. F.; HWANG, S. Y.; LO, H. F. Improving breeding efficiency for quality and yield of sweet potato. **Botanical Studies**. V.48, P.283- 292, 2007.

LI, X., LONG, Q., GAO, F., HAN, C., JIN, P., ZHENG, Y. Effect of cutting styles on quality and antioxidant activity in fresh-cut pitaya fruit. **Postharvest Biology Technology**. 124, 1–7, 2017.

LIU, J.; YANG, J.; ZHANG, H.; CONG, L.; ZHAI, R.; YANG, C.; ... XU, L. Melatonin inhibits ethylene synthesis via nitric oxide regulation to delay postharvest senescence in pears. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 67(8), 2279–2288, 2019.

LUENGO, R. FA.; PARMAGNANI, R. M.; PARENTE, M.R.; LIMA, M. F. B. F. **Tabela de composição nutricional das hortaliças**. Brasília: EMBRAPA Hortaliças. 2000, 4p

MA, Q., ZHANG, T., ZHANG, P., WANG, Z. Melatonin attenuates postharvest physiological deterioration of cassava storage roots. **Journal of Pineal Research**. 60, 424–434, 2016.

MAURIZ, J.L.; COLLADO, P.S.; VENEROSO, C.; REITER, R.J.; GONZÁLEZ-GALLEGO, J. A review of the molecular aspects of melatonin's anti-inflammatory actions: recent insights and new perspectives. **Journal of Pineal Research**. 54(1):1-14, 2013.

MIRANDA, J.E.C. de. Brazlândia Roxa, Brazlândia Branca, Brazlândia Rosada e Coquinho: novas cultivares de batata-doce. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 7, n. 1, p. 32-33, 1989.

MENG, J.F.; YU, Y.; SHI, T.C.; FU, Y.S.; ZHAO, T.; ZHANG, Z.W. Melatonin treatment of pre-veraison grape berries modifies phenolic components and antioxidant activity of grapes and wine. **Food Science and Technology**. 39(1): 35-42, 2019.

OLIVEIRA, A. P.; MOURA, M. F.; NOGUEIRA, D. H.; CHAGAS, N. G.; BRAZ, M. S. S.; OLIVEIRA, M. R. T.; BARBOSA, J. A. Produção de raízes de batata-doce em função do uso de doses de N aplicadas no solo e via foliar. **Horticultura Brasileira**. v. 24, n.3, p. 279-282, 2006.

PANG, L.; WU, Y.; PAN, Y.; BAN, Z.; LI, L.; LI, X. Insights into exogenous melatonin associated with phenylalanine metabolism in postharvest strawberry. **Postharvest Biology Technology**. 168, 111244, 2020.

REITER, R.J.; TAN, D.X.; ZHOU, Z.; CRUZ, M.H.C.; FUENTES-BROTO, L.; GALANO, A. Phytomelatonin: assisting plants of survive and thrive. **Molecules**. 20, 7396–7437, 2015.

ROESLER, P. V. S. O; GOMES, S. D.; MORO, E.; KUMMER, A. C. B.; CEREDA, M. P. Produção e qualidade de raiz tuberosa de cultivares de batata- de batata-doce no oeste do este do este do Paraná. **Acta Scientiarum. Agronomy**. v. 30, n. 1, p. 117-122, 2008.

SHI, H., JIANG, C., YE, T., TAN, D.-X., REITER, R. J., ZHANG, H., LIU, R.; CHAN, Z. Comparative physiological, metabolomic, and transcriptomic analyses reveal mechanisms of improved abiotic stress resistance in bermudagrass [*Cynodon dactylon* (L). Pers.] by exogenous melatonin. **Journal Experimental Botany**. 66, 681–694, 2015.

SONG, C. J. Extracellular ATP Induces the Accumulation of Superoxide via NADPH Oxidases in Arabidopsis. **Plant Physiology**. 140, 1222–1232, 2006.

TAIZ L.; ZEIGER E. **Fisiologia Vegetal**. 3 ed. Porto Alegre: Artemed, 2004, p. 719.

TOMÁS-BARBERÁN, F. A.; ESPÍN, J. C. Phenolic compounds and related enzymes as determinant of quality in fruit and vegetables. **Journal of the Science of Food Agriculture**. n. 81, p. 853-879.

TAL, O.; HAIM, A.; HAREL, O.; AND GERCHMAN, Y. Melatonin as an antioxidant and its semi-lunar rhythm in green macroalga *Ulva* sp. **Journal of Experimental Botany**. 62, 1903–1910, 2011.

XU, L.; YUE, Q.; BIAN, F.E.; SUN, H.; ZHAI, H.; YAO, Y. Melatonin enhances phenolics accumulation partially via ethylene signaling and resulted in high antioxidant capacity in grape berries. **Frontiers in Plant Science**. 8, 1426, 2017.

- WANG, P.; SUN, X.; XIE, Y. P.; LI, M. J.; CHEN, W.; ZHANG, S.; LIANG, D.; MA, F. Melatonin regulates proteomic changes during leaf senescence in *Malus hupehensis*. **Journal of Pineal Research**. 57, 291–307, 2014.
- ZHANG, N.; ZHAO, B.; ZHANG, H. J.; WEEDA, S.; YANG, C.; YANG, Z. C.; REN, S.; GUO, Y. D. Melatonin promotes water-stress tolerance, lateral root formation, and seed germination in cucumber (*Cucumis sativus* L.). **Journal of Pineal Research**. 54, 15–23, 2013.
- ZHANG, N.; SUN, Q.; LI, H.; LI, X.; CAO, Y.; ZHANG, H.; LI, S.; ZHANG, L.; QI, Y.; REN, S.; ZHAO, B.; GUO, Y. Melatonin improved anthocyanin accumulation by regulating gene expressions and resulted in high reactive oxygen species scavenging capacity in cabbage. **Frontiers Plant Science**. 7, 197, 2016.
- ZHAI, Z., HUANG, X., YIN, Y. Beyond immunity: The Imd pathway as a coordinator of host defense, organismal physiology and behavior. **Developmental & Comparative Immunology**. 83: 51-59. 2018.

**CAPÍTULO I**  
**RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE BATATA DOCE MINIMAMENTE**  
**PROCESSADA CULTIVADA COM DOSES CRESCENTES DE**  
**FERTILIZANTE FOSFATADO**

**RESUMO**

O presente trabalho teve como objetivo estudar o dano e a proteção oxidativa, o metabolismo dos fenilpropanóides e a qualidade da batata-doce colorida minimamente processada cultivada com incrementos na adubação com P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. A batata-doce foi cultivada com 0, 60, 120, 180 e 240 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. As raízes foram colhidas e o teor de P nas raízes e folhas foi quantificado. As raízes foram minimamente processadas e mantidas por 20 dias a 5 °C. O maior aporte de P no solo aumentou o teor de P nas raízes e folhas e o rendimento agroindustrial. Raízes cultivadas com P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> apresentaram maior teor de peróxido de hidrogênio, compostos fenólicos, vitamina C, flavonóides amarelos, antocianinas, carotenóides, capacidade antioxidante pelo método DPPH e aumento da atividade das enzimas polifenol oxidase, peroxidase e fenilalanina amônia-liase demonstraram o papel do fósforo na proteção contra danos oxidativos devido ao acúmulo de compostos bioativos, melhorando assim a qualidade físico-química da batata doce laranja minimamente processada.

**Palavras-chave:** *Ipomoea batatas* (L.) Lam., Fósforo, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, Fenóis.

**CHAPTER I**  
**PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF MINIMALLY PROCESSED SWEET  
POTATOE CULTIVATED WITH INCREASING DOSES OF PHOSPHATE  
FERTILIZER**

**ABSTRACT**

The present work aimed to study oxidative damage and protection, phenylpropanoid metabolism and quality of minimally processed colored sweet potato cultivated through cultivations with increments in P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> fertilization. Sweet potato was cultivated with 0, 60, 120, 180 and 240 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. The roots were harvested and the P content in the roots and leaves was quantified. The roots were minimally processed and kept for 20 days at 5 °C. The highest input of P in the soil increased the P content in roots and leaves and the agroindustrial yield. Roots cultivated with P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> showed higher content of hydrogen peroxide, phenolic compounds, vitamin C, yellow flavonoids, anthocyanins, carotenoids, antioxidant capacity by the DPPH method and increased activity of polyphenol oxidase, peroxidase and phenylalanine ammonia-lyase enzymes. demonstrated the role of phosphorus in protecting against oxidative damage due to the accumulation of bioactive compounds, thus improving the physicochemical quality of minimally processed orange sweet potato.

**Key words:** *Ipomoea batatas* (L.) Lam., Phosphorus, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, Phenols.

## 1 INTRODUÇÃO

A batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) ocupa o sétimo lugar nas estatísticas de cultivos mundiais, superada apenas pelo trigo, arroz, milho, batata, mandioca e cevada, tornando-se uma importante cultura alimentar que serve como fonte de energia e nutrição em muitos países (LIN et al., 2007; JUNG et al., 2011). É considerada uma cultura de segurança alimentar devido à baixa necessidade de insumos, facilidade de produção e altos componentes nutricionais (CHAKRABORTY et al., 2017; ROESLER et al., 2008). No Brasil, a batata-doce tem forte papel social, pois é cultivada por pequenos agricultores, com mão de obra geralmente familiar. Talvez por isso ainda seja uma cultura pouco pesquisada no país, principalmente no que diz respeito a novas tecnologias, informações sobre manejo, adubação e desenvolvimento de novas cultivares adaptadas às diferentes regiões brasileiras (BLOCK, 1994).

A composição nutricional, o potencial produtivo e a facilidade de coleta colocam a batata-doce entre os interesses da indústria quanto à sua utilização, seja como fonte de matéria-prima minimamente processada para obtenção de compostos bioativos ou para obtenção de produtos industrializados com qualidade nutricional ou mesmo em sua utilização para agregar maior valor comercial a outros produtos (MITRA, 2012). Como os cultivares de polpa pigmentada apresentam altos teores de carotenóides (AKHTAR et al., 2013; TEOW et al., 2007) com maior potencial antioxidante, a batata-doce apresenta uma possível alternativa como suplemento alimentar para complementar a carência de vitamina A; é uma fonte abundante e de baixo custo de  $\beta$ -caroteno quando comparada com cultivares de polpa branca e creme (FILGUEIRA, 2000). As raízes da batata-doce também são fontes de compostos fenólicos, que são antioxidantes com atividade farmacológica, e assim, a cultura pode potencialmente ser utilizada como alimento funcional. Consequentemente, o conteúdo fenólico nas raízes da batata-doce pode servir como um indicador útil da sua atividade antioxidante (EMBRAPA, 1995).

A aplicação adequada de fósforo pode aumentar a produtividade da batata-doce, pois a cultura é muito eficiente na absorção de fósforo. Devido à deficiência comum nos solos brasileiros desse nutriente, ele deve ser aplicado de forma prontamente disponível e no momento certo (EUGENIO et al., 2021; JACOBO-VELAZQUEZ et al., 2011). Recentemente, foi descoberto outro papel do fósforo na indução do metabolismo dos fenilpropanóides e da oxidação de compostos fenólicos



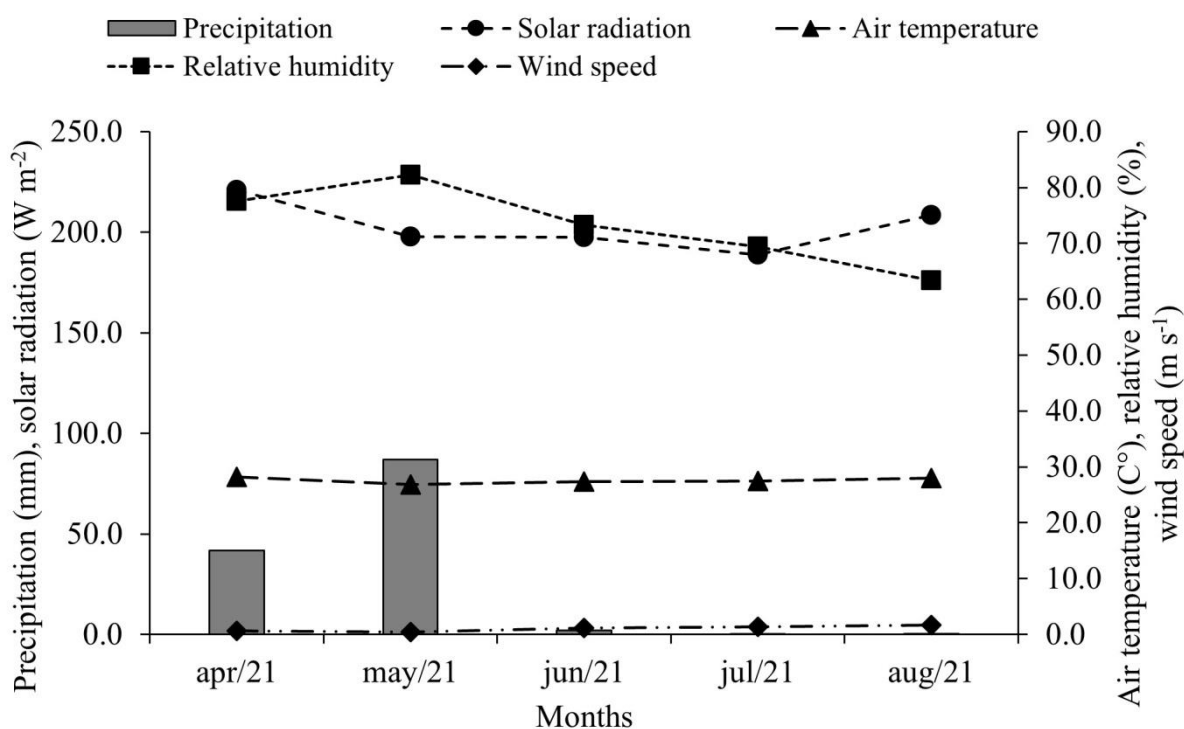
que causam escurecimento na mandioca minimamente processada (EUGENIO et al, 2021). Esta descoberta complementou descobertas anteriores que forneceram mais detalhes bioquímicos sobre a participação do trifosfato de adenosina (ATP) no processo de sinalização e transdução intra e intercelular nos tecidos de cenouras cortadas que leva à biossíntese induzida pela ferida e ao acúmulo de compostos fenólicos (ALVARES e outros, 2013).

Os achados de Eugênio et al. (2021), questionou se o escurecimento evidenciado na mandioca minimamente processada foi intensificado porque esta raiz não possui ou mesmo carece de pigmentos antioxidantes, como carotenóides e flavonóides, entre outros. Esses fitoquímicos também podem mascarar reações oxidativas reduzindo o aparecimento de escurecimento (SILVA et al., 2009). Assim, isto sugere que uma raiz contendo estes pigmentos, como a batata-doce colorida, pode não parecer ter escurecimento enzimático. Esta pesquisa teve como objetivo estudar a utilização de doses crescentes de  $P_2O_5$  como modulador agrônômico para indução de compostos bioativos e proteção contra danos oxidativos em batata-doce após processamento mínimo.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização e gestão da área experimental

As plantas de batata-doce foram cultivadas na Unidade Experimental da Fazenda Rafael Fernandes, pertencente à Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA). A área de estudo está localizada no distrito de Alagoinha, município de Mossoró, estado do Rio Grande do Norte, Brasil ( $5^{\circ}03'31,00''$  S,  $37^{\circ}23'47,57''$  W, e 80 m de altitude). Segundo a classificação de Köppen, o clima característico da região é semiárido, do tipo BSh (seco e muito quente) (ALVARES et al., 2013) com o período chuvoso ocorrendo entre fevereiro e maio. A precipitação média anual na região é de 670 mm, a umidade relativa é de 68,9% e o período seco vai de junho a janeiro (ALVARES et al., 2013). Os dados meteorológicos foram coletados ao longo do experimento pela estação meteorológica instalada na Fazenda Experimental (Figura 1).



**Figura 1.** Precipitação (mm), temperatura do ar ( $^{\circ}C$ ), umidade relativa (%) e velocidade do vento ( $m s^{-1}$ ) entre os meses de abril a agosto de 2021 no município de Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), 2021.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho típico-distrófico (SILVA et al., 2009). Amostras de solo nas profundidades de 0-0,20 m e 0,20-0,40 m foram coletadas para caracterização química (DONAGEMMA et al., 2017) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Análise química do solo da área experimental da Fazenda Experimental Rafael Fernandes, em Mossoró - RN, Brasil.

Profundidade	pH	CE	P*	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	SB	T	CTC
(cm)	(água)	dS/m	mg dm <sup>-3</sup>			cmolc dm <sup>-3</sup>					
0 – 20	6.34	70.9	4.69	61.83	12.68	1.43	0.35	0	1.99	1.99	1.99
20 – 40	6.03	71	4.57	51.64	12.68	1.36	0.89	0	2.44	2.44	2.44

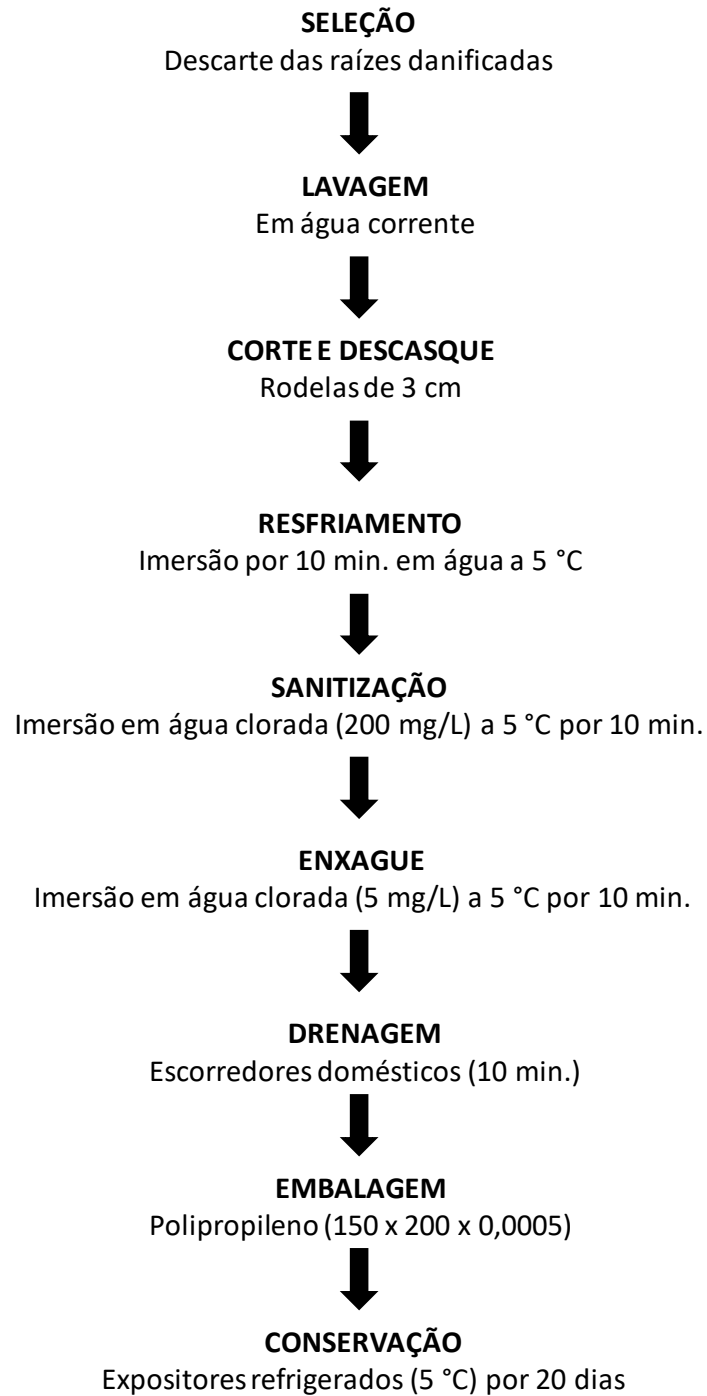
Propágulos vegetativos de batata-doce (*Ipomoea batatas*) cv. Paraná foi utilizada no cultivo. Estas foram obtidas em um campo de multiplicação localizado na Fazenda Experimental Rafael Fernandes. A adubação fosfatada foi realizada via fertirrigação com fosfato monoamônico (MAP) (61% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 12% N) nas seguintes doses: 0, 60, 120, 180 e 240 kg ha<sup>-1</sup> de maio a setembro de 2021. A adubação fosfatada foi repetida nos mesmos meses de 2021. O fertilizante fosfatado foi aplicado integralmente no plantio. A adubação com nitrogênio (N) e potássio (K) foi realizada conforme manual do Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA (2008). As adubações de N e K foram parceladas em duas vezes e aplicadas via fertirrigação, tendo como fonte, respectivamente, uréia (46% de N) e cloreto de potássio (KCl) (60% de K<sub>2</sub>O). A maior parte do nitrogênio (80%) foi aplicada 15 dias após o plantio; os 20% restantes não foram utilizados para desencorajar o crescimento dos rebentos. Metade do potássio foi aplicada aos 20 dias após o plantio e os outros 50% aos 45 dias após o plantio. As quantidades de N e K, respectivamente, foram de 1.677 e 1.608 kg por parcela. A quantidade de N aplicada foi calculada a partir do MAP que disponibiliza fósforo e nitrogênio em conjunto.

O sistema de irrigação foi por gotejamento, com emissores espaçados em 0,30 m, aplicando-se a uma profundidade média de 11 mm. Tensiômetros foram implantados para monitorar a umidade do solo. A irrigação diária foi realizada até 30 dias após o plantio. Dos 30 aos 75 dias após o plantio, a irrigação foi realizada quando os tensiômetros marcavam -20 kPa. Dos 75 aos 90 dias após o plantio, a irrigação foi

suspensa, sendo então retomada e realizada uma vez por semana até a colheita, que foi realizada aos 154 dias após o plantio, considerando a umidade do solo.

## **2.2 Colheita, processamento mínimo e armazenamento**

As raízes de batata-doce foram colhidas e transportadas para o Centro de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PGPV) da Unidade Acadêmica de Serra Talhada da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UAST/UFRPE), localizado no município de Serra Talhada, no estado de Pernambuco, Brasil. As raízes foram cortadas em rodela para processamento mínimo, seguindo o fluxograma de processo descrito por Silva et al. (2022). As rodela foram acondicionadas em sacos de polipropileno (150 × 150 × 0,0005 mm) e armazenadas por 20 dias a  $5 \pm 2$  °C e  $90 \pm 5\%$  de umidade relativa. Cada unidade experimental foi composta por aproximadamente 150 g de rodela, sendo utilizadas três repetições por tratamento (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). O processamento mínimo descrito a seguir foi realizado conforme Silva et al. (2022), com adaptações (Figura 1).



**Figura 2.** Fluxograma de processamento mínimo utilizado para raízes de batata-doce, adaptado de Silva et al. (2022).

As análises foram realizadas nos dias 0, 4, 8, 12, 16 e 20. Em cada momento de amostragem, amostras com córtex  $\pm 2$  mm de espessura foram coletadas, congeladas em nitrogênio líquido e armazenadas em ultra freezer (-80 °C).

### 2.3 Rendimento agroindustrial e teor de fósforo

O rendimento agroindustrial foi determinado em termos percentuais conforme descrito por Freire et al. (2014), utilizando a seguinte fórmula:

$$RA = \left( \frac{PF}{PI} \right) \times 100$$






Onde, RA = Rendimento Agroindustrial (%); PF = Peso final (g); PI= Peso inicial (g).

Para mensurar o teor de P ( $\text{g kg}^{-1}$ ) nas partes vegetativas (folha e raiz), amostras de 0,4 g foram digeridas com ácido sulfúrico (EMBRAPA, 1997). O fósforo foi determinado por colorimetria pelo método do complexo fosfomolibdico em meio redutor (EMBRAPA, 1997).

### 2.4 Avaliação visual (aspecto geral), perda de massa fresca e sólidos solúveis totais

A qualidade visual foi avaliada por um painel de avaliadores treinados para determinar a presença ou ausência de manchas escuras, estrias e descoloração na superfície das fatias de batata-doce, além da presença de odor, proliferação de *Pseudomonas* spp. e branqueamento nas amostras. Pontuações de 5 a 1 foram atribuídas subjetivamente, conforme descrito por Simões et al. (2020) (Tabela 1).

**Tabela 2.** Escala tipo Likert com cinco pontos para análise visual de batata-doce de polpa alaranjada minimamente processada em formato 'rodela'.

IMAGENS	NOTAS	DESCRIÇÃO
	5	Superfície laranja uniforme característica, com 0% de esbranquecimento com boa aparência para consumo e comercialização.
	4	Leve esbranquecimento na região central não chegando a 5% da superfície, sendo ainda própria para o consumo e comercialização.
	3	Esbranquecimento moderado, e perda da coloração característica atingindo mais de 10% da superfície, sendo imprópria para o consumo e comercialização.
	2	Moderados esbranquecimento e perda da coloração, em toda superfície acima de 50%, sendo imprópria para o consumo e comercialização.
	1	Esbranquecimento e perda da coloração intensa em toda superfície acima de 50%, sendo imprópria para o consumo.

A perda relativa de massa fresca, expressa em termos percentuais, foi calculada pela diferença com a massa fresca inicial, conforme a seguinte fórmula:

$$PMF = \left[ \frac{(PFI - PFF)}{PFF} \right] \times 100$$

Onde PMF é a perda de massa fresca, PFI é o peso fresco inicial após processamento (g); e PFF é o peso fresco final obtido após intervalos de 4 dias. As embalagens foram pesadas em balança semianalítica (ARD 110, OHAUS Adventurer, Parsippany-EUA).

Para a determinação dos sólidos solúveis, aproximadamente 30 g de rodela de batata-doce foram maceradas com auxílio de almofariz e pistilo de porcelana. O suco obtido foi adicionado ao prisma de um refratômetro e o resultado foi expresso em porcentagem.

## 2.5 Carotenóides totais, licopeno e $\beta$ -caroteno

O teor de carotenoides das amostras foi determinado segundo metodologia analítica de separação e extração dos compostos com solventes orgânicos. Amostras de

batata doce (0,25 g) foram pesadas e adicionadas a 1,25 mL de acetona, 1,25 mL de metanol e 2,5 mL de hexano. O extrato foi então mantido em repouso por 24 horas ao abrigo da luz. Após esse período, as amostras foram centrifugadas a 9.000 rpm por 5 min a 4 °C. Para determinações de licopeno foi utilizada a absorbância lida a 470 nm e para o β-caroteno, a absorbância lida a 450 nm. Assim, os carotenóides foram determinados conforme a Equação 3 (RODRIGUEZ-AMAYA, 2001; RODRIGUEZ-AMAYA & KIMURA, 20004).

$$\text{Carotenoides totais} = \frac{A_x V_x 1.000.000}{A_{1\text{cm}}^{1\%} \times M \times 100}$$

Onde: A = absorbância da solução a 470 nm para o licopeno e 450 nm para o β-caroteno; V = volume final da solução; ε = coeficiente de extinção molar de cada pigmento no solvente específico (3450 para licopeno e 2592 para β-caroteno); M = massa das amostras para análise.

## **2.6 Determinação de flavonóides e antocianinas amarelas e obtenção de extratos para teste in vitro de atividade antioxidante (DPPH e FRAP)**

Os flavonóides e antocianinas amarelos foram quantificados conforme metodologia proposta por Francis (1982) com pequenas modificações. Um grama de batata-doce foi pesado e homogeneizado com 30 mL de solução de etanol-HCl (1,5 N) por 2 min. A amostra foi filtrada e o volume ajustado para 50 mL. Em seguida, o extrato foi transferido para tubos envoltos em papel alumínio e mantidos em repouso por 12 horas a 4 °C. O branco foi composto apenas pela solução etanol-HCL (1,5N). As leituras foram realizadas em espectrofotômetro (modelo Libra S8, Biochrom) a 535 nm para antocianinas e 374 nm para flavonóides.

Os cálculos foram feitos usando as seguintes fórmulas:

$$\text{Conteúdo de antocianina} = \frac{(Abs_{535nm} \times 8.000)}{98,2}$$

$$\text{Conteúdo de flavonoides} = \frac{(Abs_{374nm} \times 8.000)}{76,6}$$



Os extratos para avaliação da atividade antioxidante *in vitro* foram obtidos macerando 0,4 g de amostras frescas com 2 mL de metanol e deixados em repouso por 24 horas. Após esse período, os extratos foram centrifugados a 9.000 g por 21 min a 5 °C.

A capacidade antioxidante pelo método DPPH foi determinada conforme proposto por Brand-Williams et al. (1995), com adaptações. Para o ensaio, foram combinados 840 µL de solução DPPH (0,1 mM) e 60 µL de sobrenadante. O ensaio controle foi preparado adicionando 900 µL da solução DPPH. Após 30 min de reação, as leituras foram feitas em espectrofotômetro (Biochrom, Libra S8, Cambridge, Reino Unido) a 517 nm, a 25 °C. O declínio na absorção das amostras gerou o percentual de sequestro de radicais livres (% FRS), que foi calculado pela seguinte equação:

$$\text{Percentual de inibição} = \frac{(\text{Abs. controle DPPH} - \text{Abs. amostra})}{\text{Abs. controle DPPH}} \times 100$$

A atividade antioxidante, avaliada pelo poder de redução do ferro, foi mensurada conforme metodologia proposta por Benzie e Strain (1996) com adaptações. Para o ensaio, uma alíquota de 900 µL de reagente FRAP (mistura contendo tampão acetato 0,3 M pH 3,6, TPTZ 0,8 M e cloreto férrico 1,66 mM) foi misturada com 90 µL de água destilada e 30 µL do sobrenadante. A solução foi então homogeneizada em agitador tubular e mantida no escuro por 30 minutos a 37°C. Após a incubação, as leituras foram realizadas em espectrofotômetro (Biochrom, Libra S8, Cambridge, Reino Unido) a 594 nm, a 25 °C. Para o branco foram utilizados 900 µL de reagente FRAP, 90 µL de água destilada e 30 µL de extrator (metanol). O potencial antioxidante dos extratos foi determinado a partir de uma curva de calibração, traçada com sulfato ferroso (FeSO<sub>4</sub>•7H<sub>2</sub>O) em concentrações de 0 a 1500 µM. Os resultados foram expressos em mmol Fe<sup>2+</sup> kg<sup>-1</sup>.

## 2.7 Fenóis solúveis totais e vitamina C

A extração e quantificação dos fenóis solúveis totais foram realizadas conforme método proposto por Freire et al. (2014), com adaptações. A vitamina C foi quantificada para o mesmo extrato, conforme proposto por Sánchez-Rangel et al. (2013). Uma porção (0,25 g) de batata-doce foi pesada em um almofariz contendo 1,5

mL de metanol puro. O extrato permaneceu em repouso por 20 horas no escuro a 4°C e centrifugado a 10.000 xg a 2°C por 21 min. Foram misturados 150 µL do sobrenadante, 2.400 µL de água destilada e 150 µL de Folin Ciocalteu (0,25 N). A mistura foi homogeneizada por 3 minutos e em seguida foi realizada a leitura da vitamina C a 765 nm. A concentração de vitamina C foi calculada a partir da curva padrão de ácido ascórbico de 0,1 a 3,0 mM, e o resultado foi expresso em mg de ácido ascórbico g<sup>-1</sup> FW. Após a leitura, foram adicionados 300 µL de carbonato de sódio (1N) à mistura contendo a amostra e Folin Ciocalteu e mantidos no escuro em temperatura ambiente por 2 h. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro (Biochrom, Libra S8, Cambridge, Reino Unido) a 765 nm, e o resultado foi expresso em mg de ácido gálico 100g<sup>-1</sup> MF, comparado a uma curva padrão de ácido gálico para fenóis solúveis.

## **2.8 Extravasamento de eletrólitos, detecção e quantificação de peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica**

Para determinar o extravasamento de eletrólitos, cubos de aproximadamente 2 g de batata-doce foram adicionados a tubos de ensaio contendo 15 mL de água ultrapura e deixados em repouso por 30 min. Em seguida foi medido o valor inicial de extravasamento (V1). Após isso, os tubos foram mantidos em banho-maria a 95 °C por 30 min, em seguida foi realizada a leitura final do extravasamento (V2). Ambas as leituras foram feitas com condutivímetro eletrônico. Assim, o extravasamento de eletrólitos foi determinado de acordo com a seguinte equação:

$$EE (\%) = \frac{V1}{V2} \times 100$$

O peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) foi detectado histoquimicamente por microscopia e pela técnica de coloração descrita por Olson e Varner (1993) e Repka (1999). Frações da região superficial do tecido de mandioca (2×2×5 mm) foram infiltradas a vácuo com tetracloreto de 3,3'-diaminobenzidina (DAB) no escuro, a -25 Ba, por 5 h. Em seguida, foram lavados com hipoclorito de sódio por 1 min. As amostras de controle foram infiltradas com ácido ascórbico (1 mM). Todas as imagens da amostra foram gravadas com câmera digital semiprofissional (Nikon D3100) (14,2

megapixels) e gravadas com estereomicroscópio (microscópio inocular Labomed Luxeo 4D Zoom Stereo Digital com zoom estéreo sob ampliação de 10X).

A quantificação do peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) foi realizada conforme Kasnak & Palamutoglu (2021) com modificações. Amostras de 0,1 g de tecido foram maceradas com 2,0 mL de ácido tricloroacético (TCA) a 1%. O extrato foi centrifugado a 1200 rpm por 15 min a 4°C. Para a reação, 0,6 mL do sobrenadante com 0,7 mL de tampão fosfato de potássio e 0,7 mL de solução de iodeto de potássio foram combinados e mantidos em repouso por 30 min, sendo então realizadas leituras em 390 nm. O teor de peróxido de hidrogênio foi estimado em  $mg\ 100\ g^{-1}\ H_2O_2$ .

A peroxidação lipídica foi estimada pelo teor de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS), segundo Heath e Packer (1968). Foram maceradas em almofariz 0,1 g de amostras de tecido com 1,0 ml de ácido tricloroacético (TCA) a 6%. O extrato foi centrifugado a 7.960 rpm por 15 min a 4°C. Em seguida, 0,5 mL do sobrenadante foram adicionados a 1,5 mL do meio reacional contendo 20% de TCA (p/v) e 0,5% de TBA (p/v), em tubos fechados. Os tubos foram mantidos a 95°C por 1 hora, seguido de banho de gelo a 5°C. Em seguida, foram feitas leituras em 532 e 660 nm. O teor de TBARS foi estimado utilizando o coeficiente de extinção molar de  $155\ mM^{-1}\ cm^{-1}$  e expresso em  $nmol\ g^{-1}\ MF$ .

## **2.9 Extrações e ensaios enzimáticos**

### **2.9.1 Fenilalanina Amônia Liase (PAL)**

A atividade PAL foi determinada seguindo a metodologia descrita por Ke e Saltveit (1986), com adaptações. Amostras de 0,5 g de tecido vegetal foram coletadas e homogeneizadas em almofariz com 3 mL de tampão borato de sódio (0,1 M, pH 8,8), composto por  $\beta$ -mercaptoetanol (5 mM), EDTA (2 mM) e polivinilpirrolidona insolúvel a 1%. (PVPP) (c/v). Posteriormente, o extrato enzimático foi filtrado e centrifugado a 25.000 xg por 20 min a 4°C.

Para o ensaio, 1,5 mL de L-fenilalanina (60 mM) foram adicionados a um tampão borato (0,1 M, pH 8,8), que foi mantido a 40 °C por 15 min. Em seguida, foram adicionados 0,5 mL do extrato enzimático. Após 20 min de incubação a 40 °C, a

absorvância foi medida a 290 nm com um espectrofotômetro (Biochrom, Libra S8, Cambridge, Inglaterra). A atividade da enzima PAL foi expressa como  $\Delta\text{Abs h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ .

### **2.9.2 Polifenoloxidase (PPO) e peroxidase (POD)**

As enzimas PPO e POD foram extraídas e sua atividade testada conforme Freire et al. (2015), com adaptações. Amostras de 0,25 g da região superficial do tecido foram maceradas e homogeneizadas em 1,5 mL de tampão fosfato de potássio 0,2 M (pH 6,0). O extrato foi centrifugado a 10.000 g por 21 min a 4°C.

O ensaio de PPO foi realizado adicionando 100  $\mu\text{L}$  de sobrenadante a um meio reacional contendo 1,5 mL de tampão fosfato de potássio (0,2 M, pH 6,0) e 1,3 mL de catecol (0,2 M), previamente mantido a 25 °C em banho seco. As leituras foram realizadas em intervalos de 30 segundos durante 2 minutos, com espectrofotômetro (Biochrom, Libra S8, Cambridge, Inglaterra) a 425 nm, à temperatura de 25 °C. A atividade da PPO foi calculada com base no coeficiente de extinção molar de 3400  $\text{M cm}^{-1}$  para catecol e foi expressa em  $\mu\text{mol catecol min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ .

O ensaio POD foi realizado adicionando 100  $\mu\text{L}$  de sobrenadante a um meio reacional contendo 1 mL de tampão fosfato de potássio (0,2 M, pH 6,0), 100  $\mu\text{L}$  de guaiacol (40 mM) e 100  $\mu\text{L}$  de peróxido de hidrogênio (23 mM) que foi previamente mantido a uma temperatura de 25 °C em banho seco. As absorvâncias foram lidas em intervalos de 30 segundos, durante 2 minutos, utilizando um espectrofotômetro (Biochrom, Libra S8, Cambridge, Inglaterra) a 470 nm. A atividade da POD foi calculada com base no coeficiente de extinção molar do guaiacol de 26,6  $\text{mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$  e expressa em  $\mu\text{mol guaiacol min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ .

### **2.10 Delineamento experimental e análise estatística**

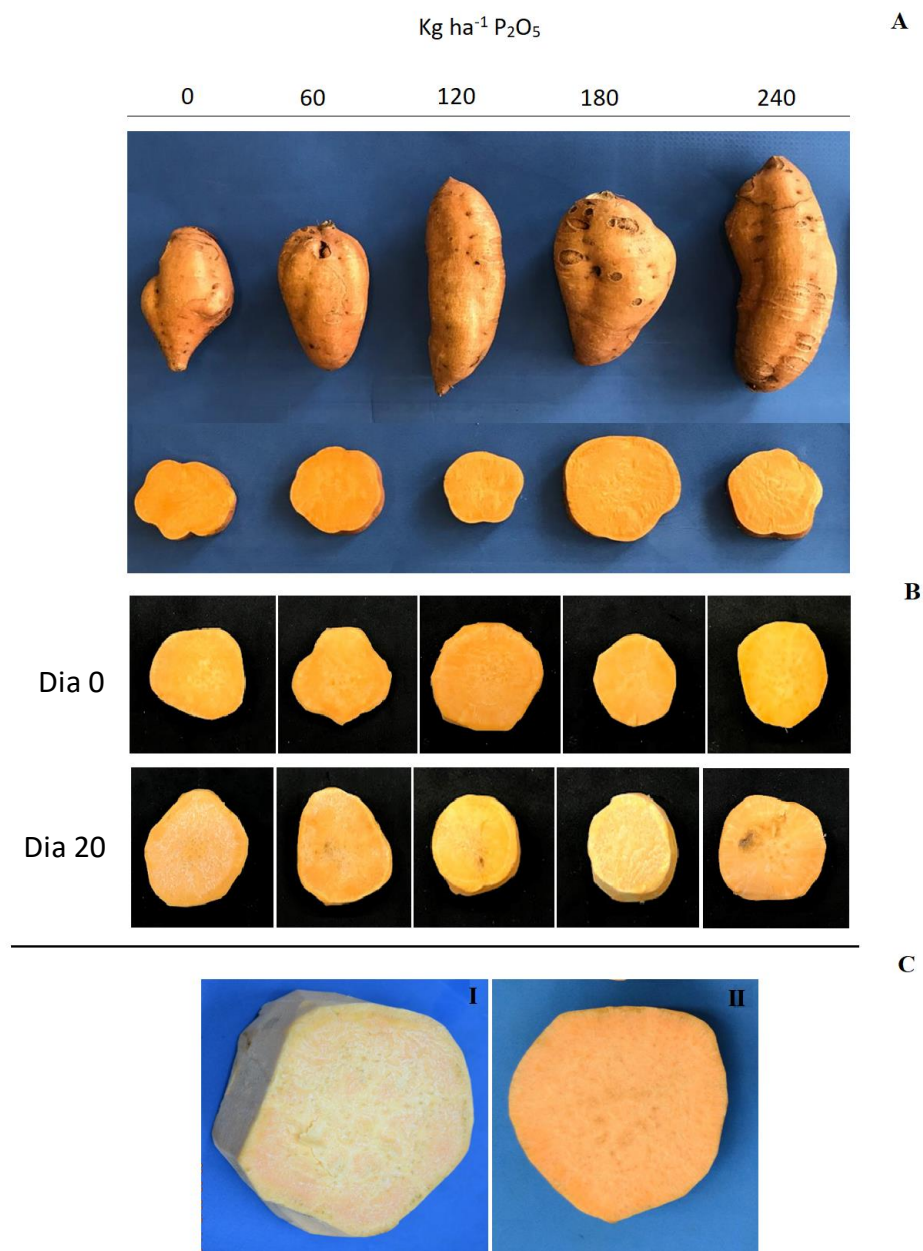
O experimento foi instalado em delineamento em blocos casualizados (DBC), com arranjo fatorial  $5 \times 6$ , representado por cinco tratamentos (adubação fosfatada: 0, 60, 120, 180 e 240  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) e seis dias de avaliação (0, 4, 8, 12, 16 e 20 dias), com cinco repetições. Cada unidade experimental foi representada por uma embalagem contendo aproximadamente 150 g de raízes de batata-doce minimamente processadas. A análise de detecção de  $\text{H}_2\text{O}_2$  foi realizada apenas nos dias 0 e 20 de conservação. Os

dados foram submetidos aos testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e homocedasticidade (Levene), análise de variância e teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o software SAS, e os gráficos foram criados no software Sigma Plot, versão 11.0.

### **3 RESULTADOS**

#### ***3.1 Aparência, teor de fósforo e rendimento agroindustrial***

A adubação a partir de 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> resultou em alterações visíveis nas raízes, tornando-as maiores (Figura 3). Isto foi acompanhado por um maior teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> nas folhas e raízes (Tabela 3). Para o rendimento agroindustrial em batata após processamento mínimo, ocorreu aumento significativo com a dosagem de 120 kg ha<sup>-1</sup> e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Tabela 3).



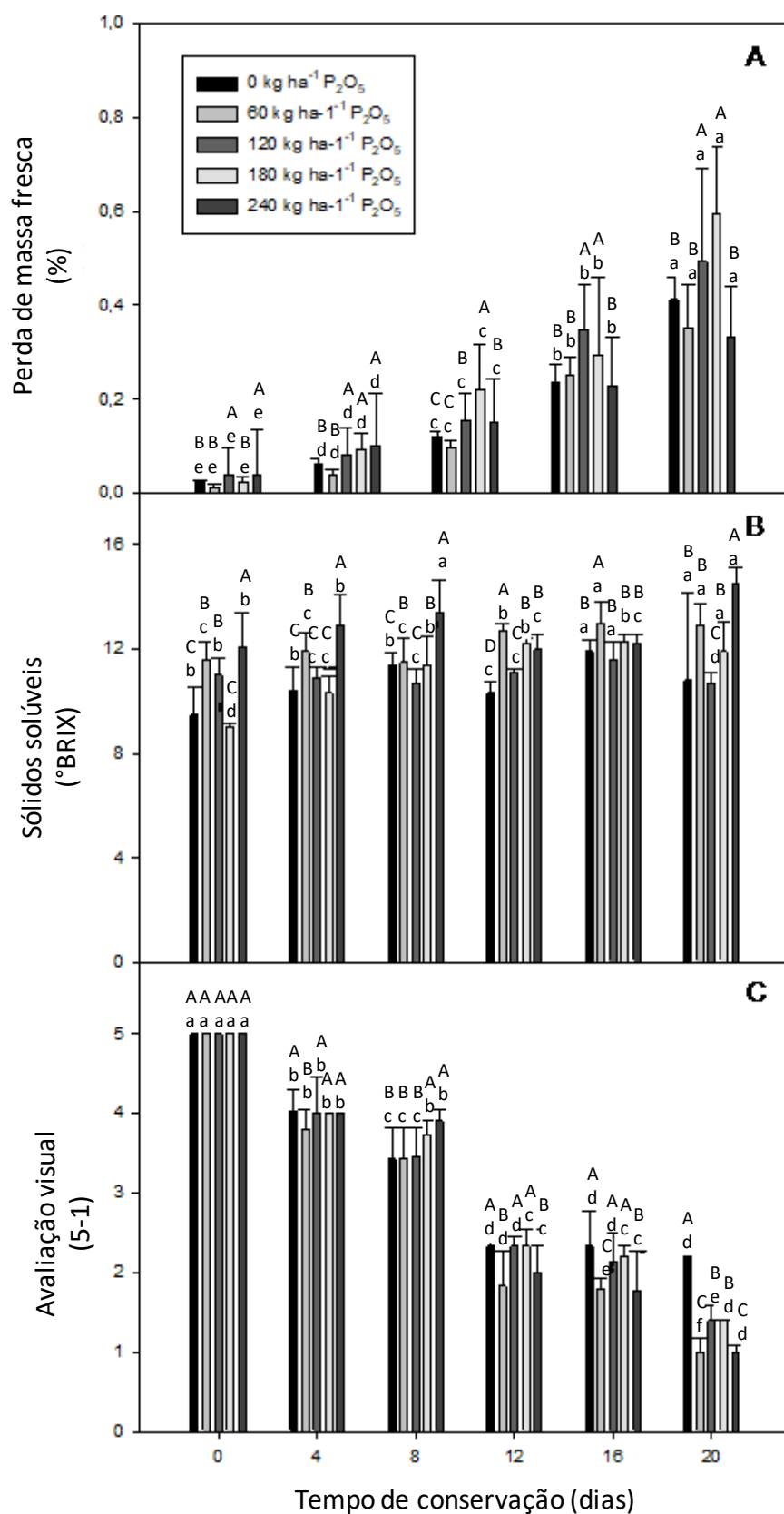
**Figura 3.** (A) - Raízes de batata doce cv. Paraná cultivado em diferentes níveis de adubação fosfatada (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). (B) - Ilustrações de aparência visual e (C) Aparência de batata-doce minimamente processada após 8 dias de armazenamento, imediatamente retirada da embalagem (I) e posteriormente hidratada (II), cultivada em diferentes níveis de adubação fosfatada (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), minimamente processado e armazenado por 20 dias a 5 ± 2 °C e 90 ± 5% UR.

**Tabela 3.** Rendimento agroindustrial (%) e teor de fósforo (g kg<sup>-1</sup>) em diferentes partes da planta de batata-doce cv. Paraná submetido a diferentes níveis de adubação fosfatada (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). As letras representam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam os diferentes níveis de fertilização fosfatada.

Fertilizações (Kg ha <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Rendimento agroindustrial (%)	Conteúdo de fósforo (g kg <sup>-1</sup> )	
		Folha	Raíz
0	35.61 ± 3.72 <sup>BC</sup>	1.75 ± 0.16 <sup>B</sup>	1.99 ± 0.25 <sup>B</sup>
60	30.49 ± 2.35 <sup>C</sup>	1.73 ± 0.22 <sup>B</sup>	2.10 ± 0.20 <sup>B</sup>
120	38.14 ± 6.9 <sup>B</sup>	2.36 ± 0.14 <sup>A</sup>	2.27 ± 0.67 <sup>A</sup>
180	34.10 ± 5.07 <sup>BC</sup>	2.69 ± 0.29 <sup>A</sup>	2.33 ± 0.15 <sup>A</sup>
240	50.97 ± 4.89 <sup>A</sup>	2.5 ± 0.04 <sup>A</sup>	3.10 ± 0.27 <sup>A</sup>

### 3.2 Perda de massa fresca, sólidos solúveis e avaliação visual

A perda de massa fresca aumentou durante o armazenamento em todas as raízes minimamente processadas (Figura 4A). Curiosamente, as maiores perdas foram para os pedaços que tiveram suas raízes adubadas com 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, as diferenças foram significativas aos 8, 12 e 16 dias (Figura 4B). No caso dos sólidos solúveis, as adubações com P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> nas doses de 60, 120 e 240 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> tenderam a aumentar o valor médio em relação à testemunha; isso foi observado no início (dia zero) e nos dias 4, 12 e 20 dias (Figura 4B). As pontuações correspondentes à avaliação visual caíram durante a conservação, independente da adubação P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Figura 4C). As batatas minimamente processadas demoraram no máximo 8 dias para atingir o grau comercial, sendo que as batatas que foram adubadas com 180 e 240 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> alcançaram um teor um pouco superior (Figura 4C). Porém, durante o armazenamento, aos 20 dias, ainda havia pequenas manchas enegrecidas, principalmente nas batatas que receberam maiores graus de adubação fosfatada; este, no entanto, não foi considerado o principal problema de perda de qualidade (Figuras 3B e 4).



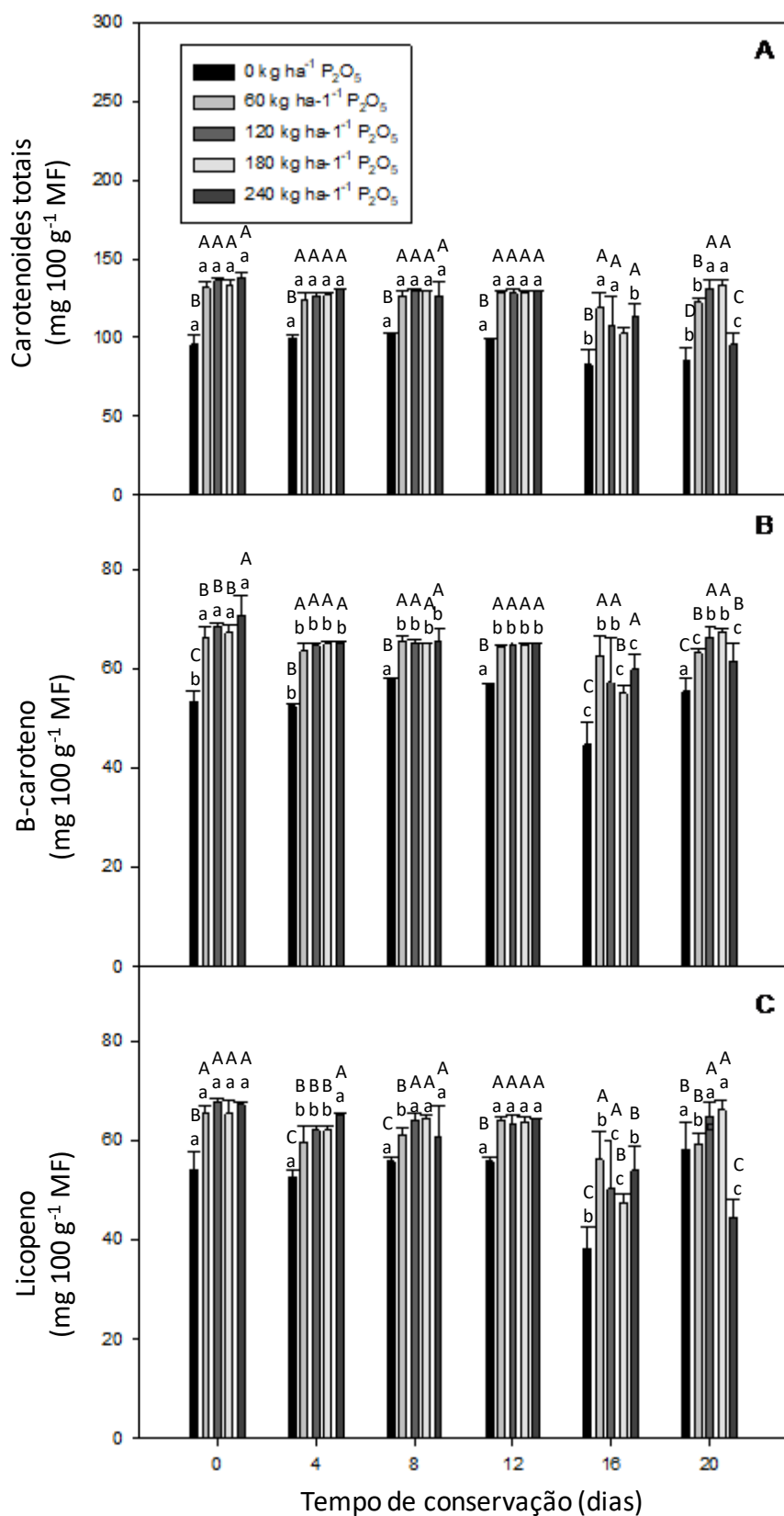
**Figura 4.** (A) - Perda de massa fresca (%), (B) - Pontuação visual (5-1) e (C) - Sólidos solúveis (°Brix), em raízes de batata-doce cv. Paraná cultivado em diferentes níveis de adubação fosfatada (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), minimamente processado e



armazenado por 20 dias a  $5 \pm 2$  °C e  $90 \pm 5\%$  UR. As barras representam o desvio padrão da média. As letras representam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam os diferentes níveis de fertilização fosfatada e letras minúsculas comparam os dias de armazenamento.

### ***3.3 Carotenóides totais, $\beta$ -caroteno e licopeno***

Ficou evidente que os pedaços de batata-doce provenientes de raízes não fertilizadas com  $P_2O_5$ , no início do experimento e durante o armazenamento, apresentaram níveis significativamente mais baixos de carotenóides totais,  $\beta$ -caroteno e licopeno (Figuras 5A, B e C). Aos 20 dias, as batatas adubadas com 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de  $P_2O_5$  apresentaram os maiores teores desses pigmentos (Figuras 5A, B e C).

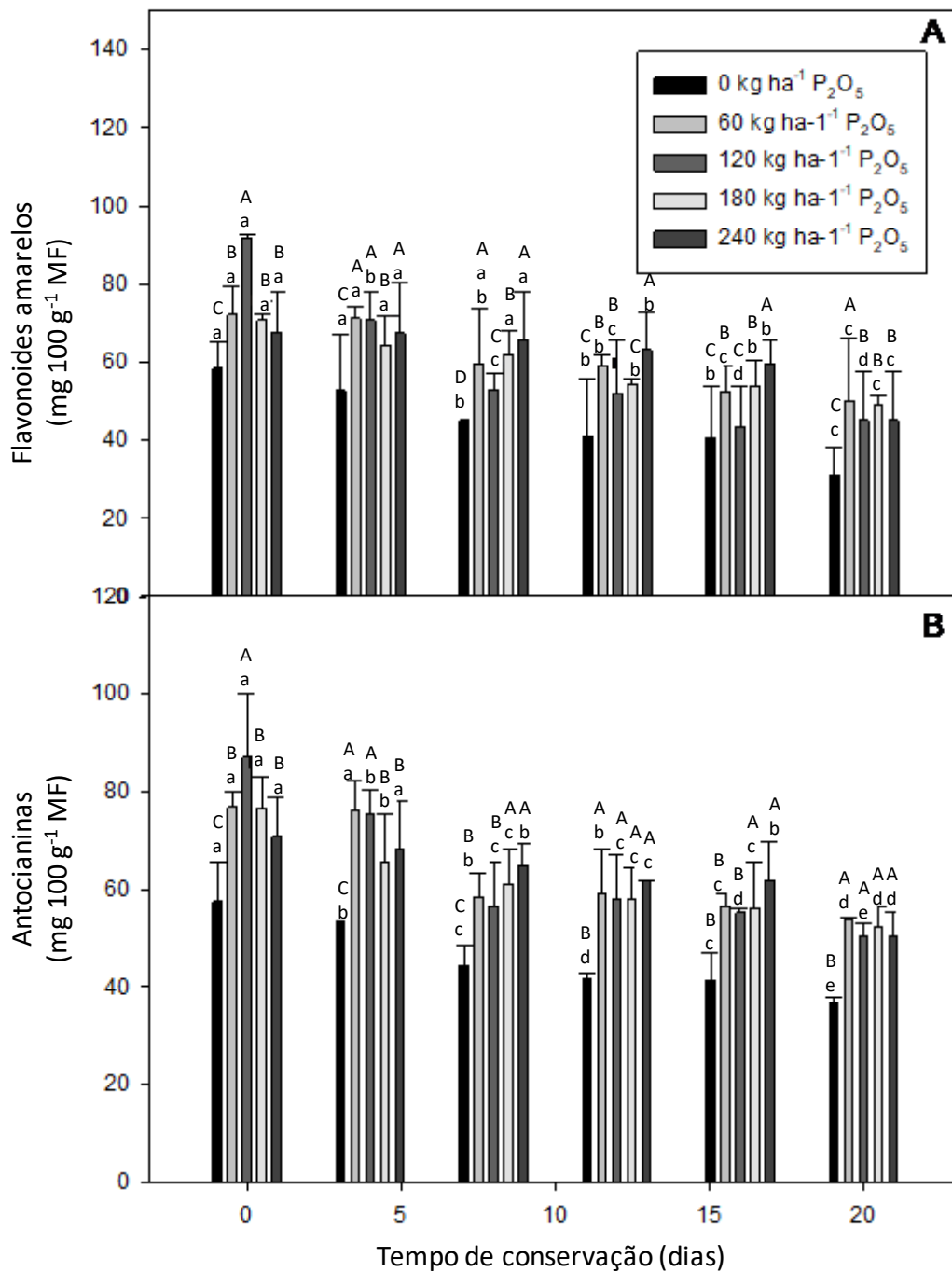


**Figura 5.** (A) - Carotenóides totais (mg 100 g<sup>-1</sup> MF), (B) - β-caroteno (mg 100 g<sup>-1</sup> MF) e (C) - Licopeno (mg 100 g<sup>-1</sup> MF), em raízes de batata-doce cv. Paraná cultivado em diferentes níveis de adubação fosfatada (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>),

minimamente processado e armazenado por 20 dias a  $5 \pm 2$  °C e  $90 \pm 5\%$  UR. As barras representam o desvio padrão da média. As letras representam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam os diferentes níveis de fertilização fosfatada e letras minúsculas comparam os dias de armazenamento.

### ***3.4 Flavonóides Amarelos e Antocianinas***

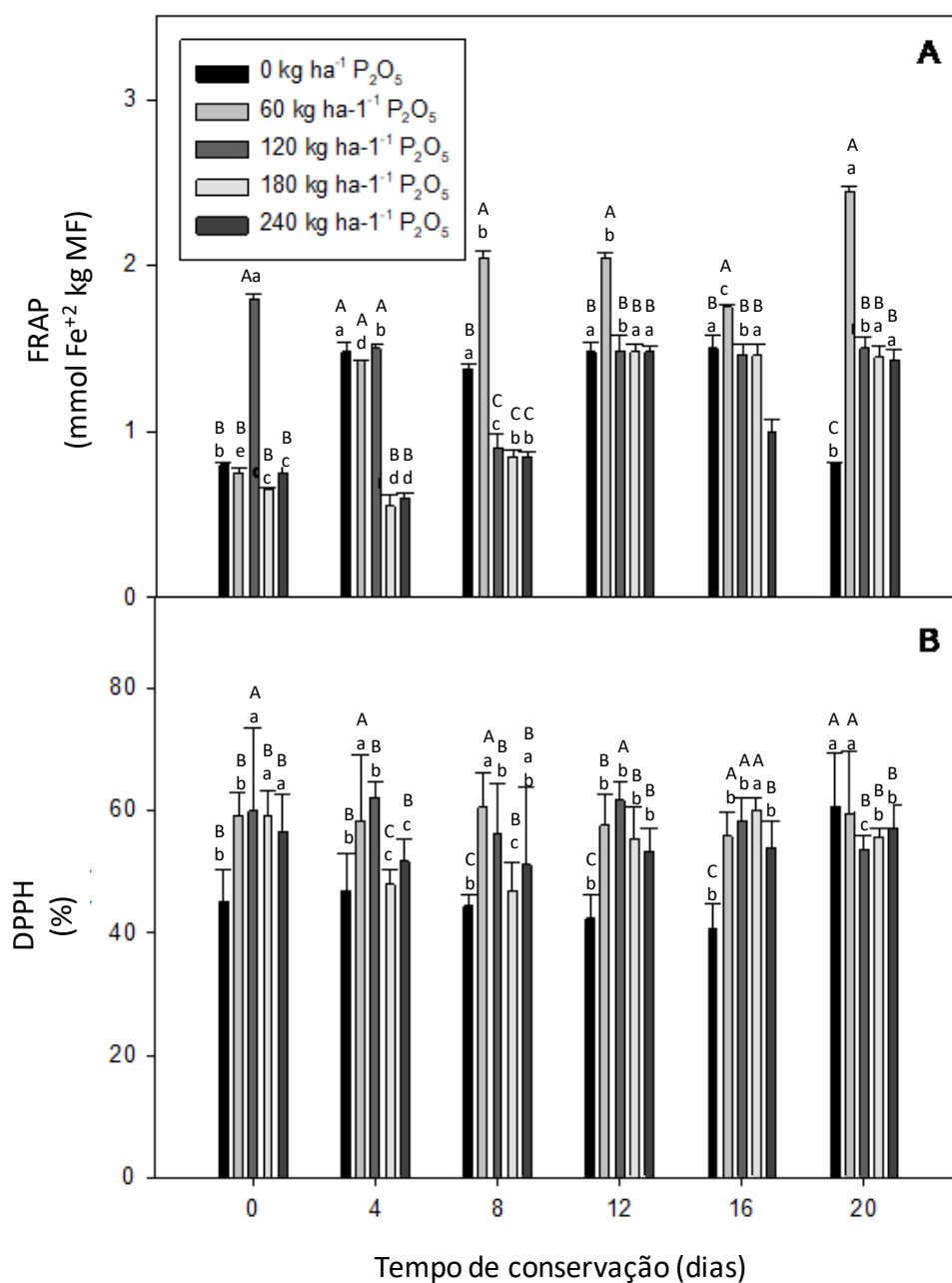
Os teores de flavonóides amarelos e antocianinas foram significativamente maiores do início ao final do experimento para as raízes adubadas com  $P_2O_5$ , em comparação ao controle (Figuras 6A e B).



**Figura 6.** (A) - Flavonóides amarelos (mg 100 g<sup>-1</sup> MF), (B) - Antocianinas (mg 100 g<sup>-1</sup> MF), em raízes de batata-doce cv. Paraná cultivado em diferentes níveis de adubação fosfatada (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), minimamente processado e armazenado por 20 dias a 5 ± 2 °C e 90 ± 5% UR. As barras representam o desvio padrão da média. As letras representam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam os diferentes níveis de fertilização fosfatada e letras minúsculas comparam os dias de armazenamento.

### 3.5 Capacidade antioxidante (DPPH e FRAP)

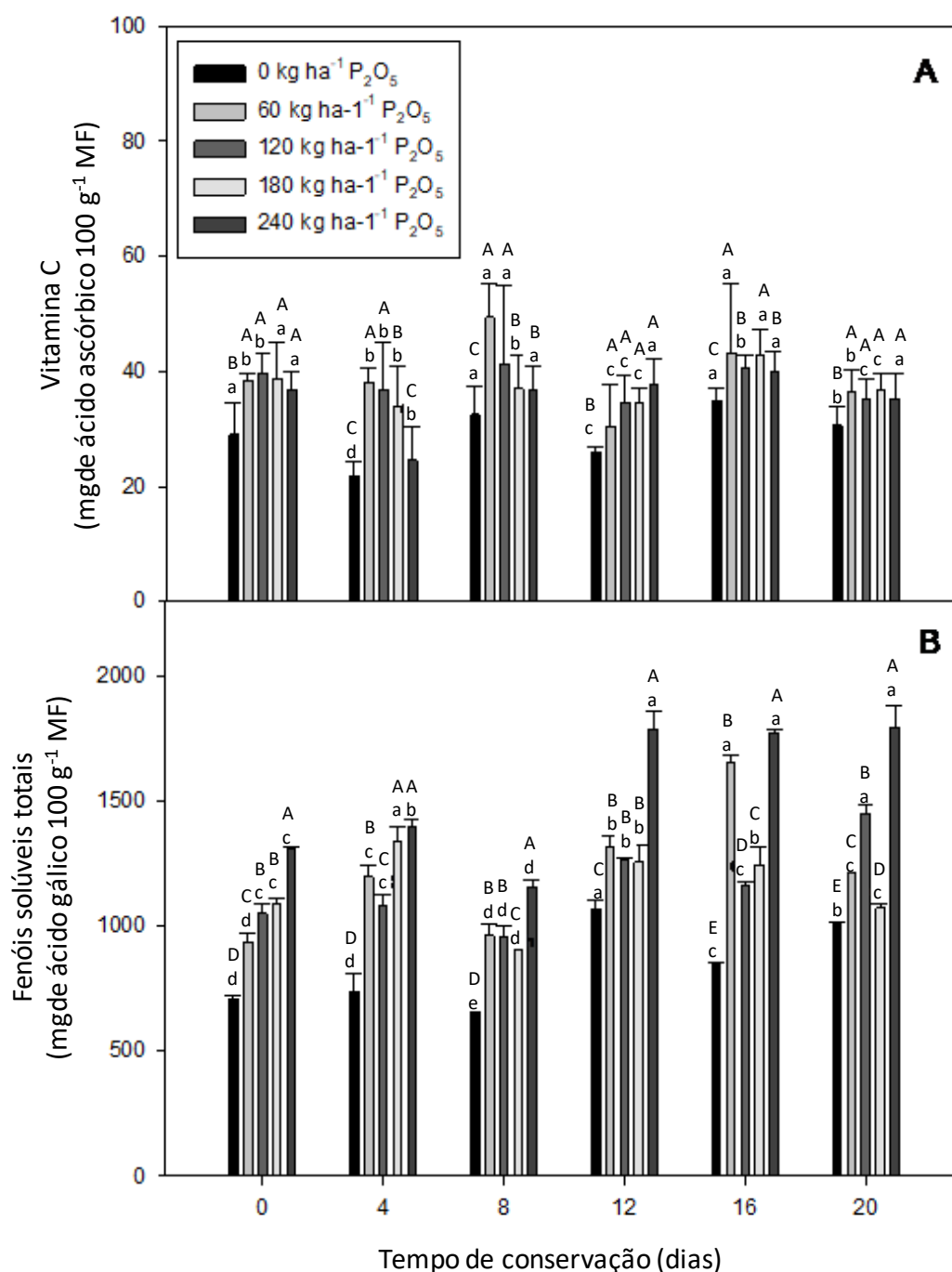
Os níveis de capacidade antioxidante medidos pelo método DPPH foram significativamente maiores do início ao final do experimento para as raízes adubadas com  $P_2O_5$ , em comparação ao controle (Figura 7B). Esse padrão não foi observado para capacidade antioxidante pelo método FRAP (Figura 7B), embora a mesma tendência tenha continuado ao final de 20 dias (Figura 7B).



**Figura 7.** (A) - FRAP ( $\text{mmol Fe}^{+2} \text{ kg MF}$ ) e (B) - Atividade de eliminação de DPPH (%) em raízes de batata-doce cv. Paraná cultivado em diferentes níveis de adubação fosfatada (0, 60, 120, 180 e 240  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), minimamente processado e armazenado por 20 dias a  $5 \pm 2$  °C e  $90 \pm 5\%$  UR. As barras representam o desvio padrão da média. As letras representam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam os diferentes níveis de fertilização fosfatada e letras minúsculas comparam os dias de armazenamento.

### ***3.6 Vitamina C e compostos fenólicos totais***

Em relação ao teor de vitamina C e compostos fenólicos totais, no início do experimento, as batatas fertilizadas com fosfato apresentaram valores significativamente maiores desses fitoquímicos (Figura 8A). Além disso, no caso dos compostos fenólicos totais, a batata-doce colhida cultivada nas dosagens mais elevadas de  $\text{P}_2\text{O}_5$  resultou com o maior teor fenólico (Figura 8B). Durante o armazenamento, as raízes adubadas com fosfato mantiveram níveis mais elevados de vitamina C (Figura 8A). Este comportamento também foi observado para os compostos fenólicos (Figura 8B), sendo que a dose mais elevada apresenta sempre os maiores teores deste fotoquímico (Figura 8B).

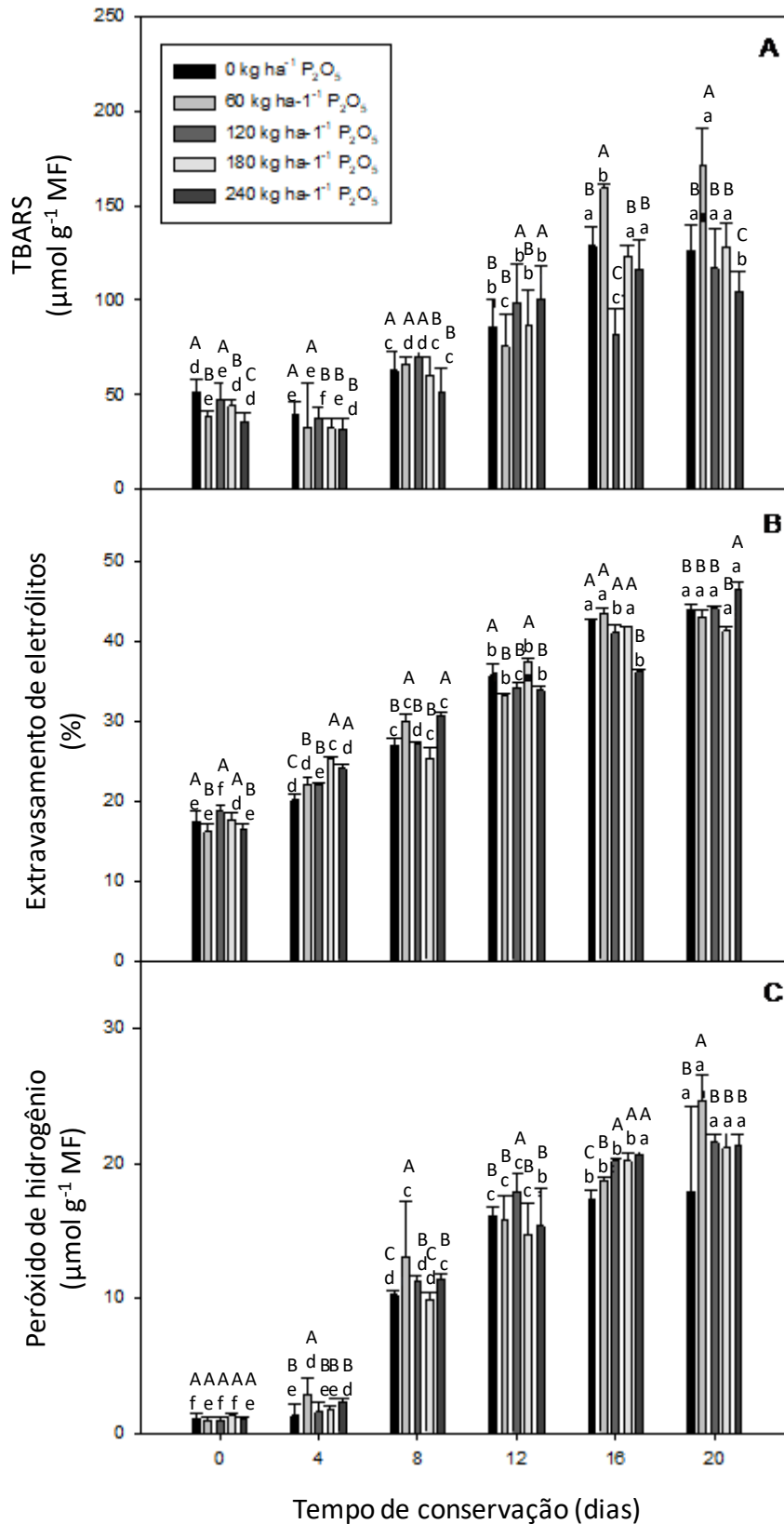


**Figura 8.** (A) - Vitamina C (mg de ácido ascórbico g<sup>-1</sup> MF), (B) - Fenóis solúveis totais (mg de ácido gálico 100 g<sup>-1</sup> MF) em raízes de batata-doce cv. Paraná cultivado em diferentes níveis de adubação fosfatada (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), minimamente processado e armazenado por 20 dias a 5 ± 2 °C e 90 ± 5% UR. As barras representam o desvio padrão da média. As letras representam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam os diferentes níveis de fertilização fosfatada e letras minúsculas comparam os dias de armazenamento.

### 3.7 TBARS, vazamento de eletrólitos e conteúdo de peróxido de hidrogênio

Os níveis de TBARS e peróxido de hidrogênio e o vazamento de eletrólitos foram semelhantes no início do experimento, independentemente de as raízes terem sido fertilizadas com  $P_2O_5$  (Figuras 9A, B e C). Durante o armazenamento das rodela de batata-doce, essas medidas aumentaram. Não foram observadas diferenças significativas no caso de vazamento de eletrólitos e níveis de TBARS (Figuras 9A e B). Porém, para os níveis de  $H_2O_2$ , as raízes adubadas com  $P_2O_5$  apresentaram os maiores teores de  $H_2O_2$  a partir dos 8 dias (Figura 9C).



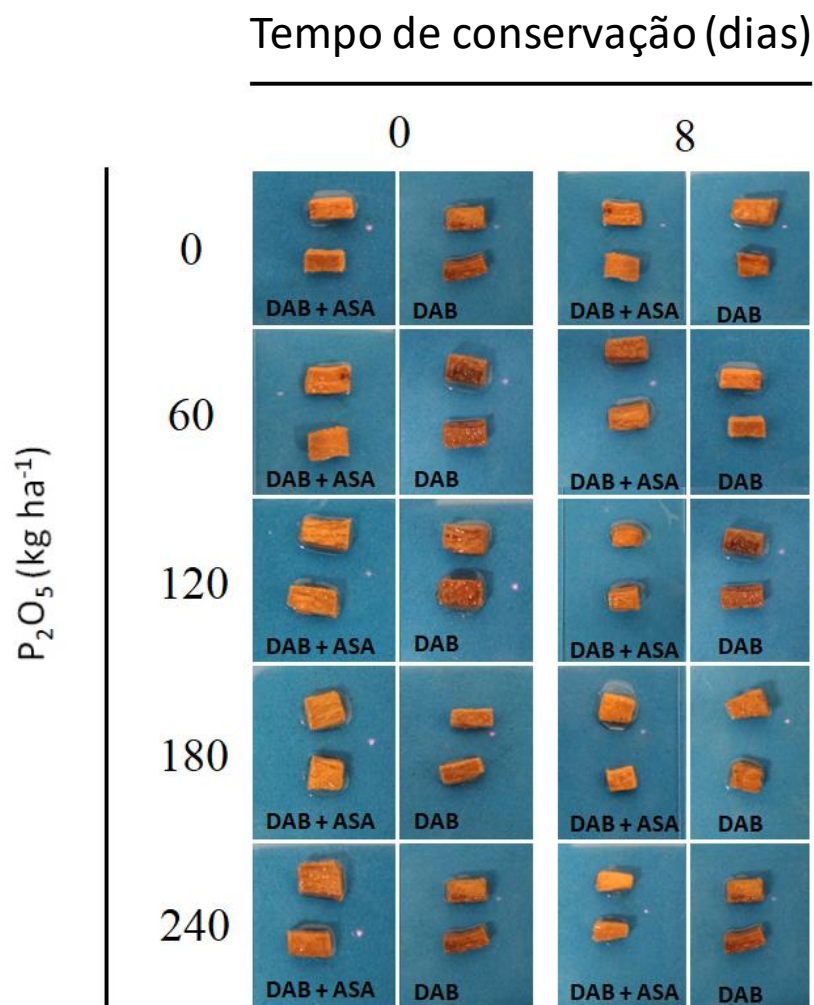


**Figura 9.** (A) - Teor de TBARS ( $\mu\text{mol g}^{-1}$  MF), (B) - Vazamento de eletrólitos (%), (C) - Teor de peróxido de hidrogênio ( $\mu\text{mol g}^{-1}$  MF) em raízes de batata-doce cv. Paraná cultivado em diferentes níveis de adubação fosfatada (0, 60, 120, 180 e 240  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ )

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), minimamente processado e armazenado por 20 dias a  $5 \pm 2$  °C e  $90 \pm 5\%$  UR. As barras representam o desvio padrão da média. As letras representam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam os diferentes níveis de fertilização fosfatada e letras minúsculas comparam os dias de armazenamento.

### ***3.8 Detecção de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>***

Para a detecção de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, no dia 0, os pedaços de raízes não adubadas apresentaram pouca diferença na tonalidade escura, sejam tratados apenas com DAB ou em conjunto com ASA (Figura 10). Isso contrastou com as raízes cultivadas com maior adubação fosfatada, onde as peças tratadas apenas com DAB sempre tiveram uma tonalidade mais escura em comparação com as peças tratadas com DAB + ASA (Figura 10). Observou-se escurecimento mais intenso nas peças com DAB nas amostras coletadas aos 8 dias (Figura 10).

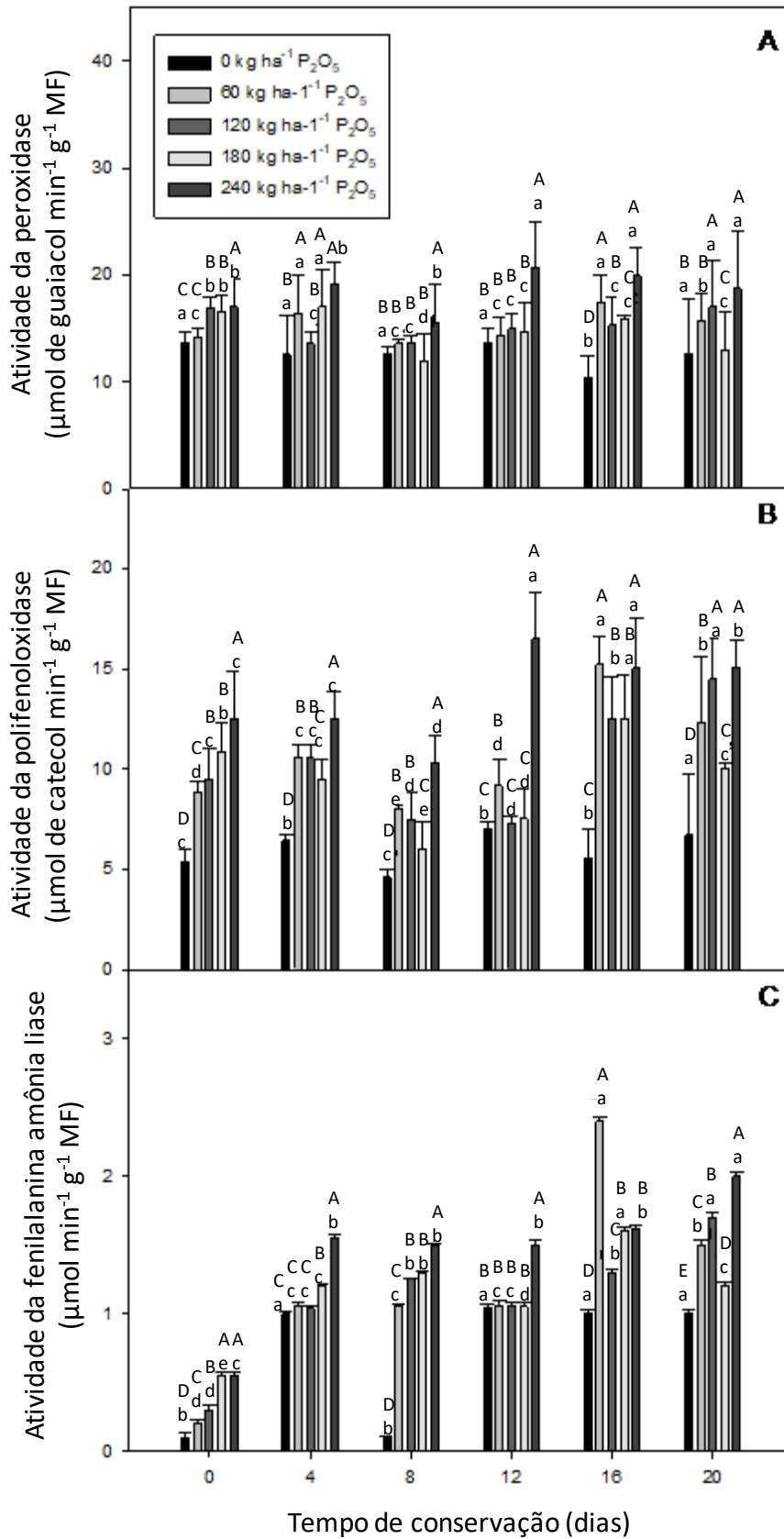


**Figura 10.** Detecção de peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) nos dias 0, 8 e 20 de armazenamento, por infiltração a vácuo com tetracloridrato de diaminobenzidina (DAB) + ascorbato (controle) e apenas DAB, em segmentos (0-5 mm) de raízes de doce batata cv. Paraná cultivado em diferentes níveis de adubação fosfatada (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha<sup>-1</sup>  $P_2O_5$ ), minimamente processado e armazenado por 20 dias a  $5 \pm 2$  °C e  $90 \pm 5\%$  UR.

### 3.9 Atividade de peroxidase (POD), polifenol oxidase (PPO) e fenilalanina amônia (PAL)

No início da conservação (dia 0), as atividades de POD e PPO das batatas derivadas da fertilização fosfatada foram significativamente maiores que as do controle (Figura 11A e B). No mesmo período, a atividade de PAL aumentou significativamente apenas nas amostras de batata derivadas da adubação de 240 kg ha<sup>-1</sup> com  $P_2O_5$  (Figura 11C). Durante o armazenamento, a atividade da PPO foi significativamente menor nos

tecidos controle da batata-doce (Figura 11B). Para POD e PAL essas diferenças foram acentuadas aos 12 e 16 dias para as raízes controle (Figuras 11A e C).



**Figura 11.** (A) atividade de POD ( $\mu\text{mol}$  de guaiacol  $\text{min}^{-1} \text{kg}^{-1}$  MF), (B) atividade de PPO ( $\mu\text{mol}$  de catecol  $\text{min}^{-1} \text{kg}^{-1}$  de MF) e fenilalanina amônia liase ( $\mu\text{mol} \text{min}^{-1} \text{g}^{-1}$  MF) em raízes de batata-doce cv. Paraná cultivado em diferentes níveis de adubação fosfatada (0, 60, 120, 180 e 240  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), minimamente processado e armazenado por 20 dias a  $5 \pm 2$  °C e  $90 \pm 5\%$  UR. As barras representam o desvio padrão da média. As letras representam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam os diferentes níveis de fertilização fosfatada e letras minúsculas comparam os dias de armazenamento.

#### 4 DISCUSSÃO

O presente trabalho investigou o efeito de doses crescentes de adubação à base de  $\text{P}_2\text{O}_5$  no dano e proteção oxidativa e no acúmulo de antioxidantes importantes para a qualidade de raízes de batata-doce laranja minimamente processadas. Acredita-se que a fertilização fosfatada pode acelerar o metabolismo dos fenilpropanóides resultando no acúmulo de compostos fenólicos (EUGENIO et al., 2021). Além disso, supõe-se que, dependendo da sensibilidade do tecido ao escurecimento, esses aumentos nos metabólitos antioxidantes, ao invés de serem positivos, tornam-se um problema, pois estimulam a evolução do escurecimento enzimático, como observado na mandioca minimamente processada (EUGENIO et al., 2021). Na presente pesquisa, o modelo vegetal para investigar esse fenômeno foi a raiz de uma batata-doce laranja chamada Paraná, variedade comercial cultivada no Brasil, aceita como batata-doce de mesa, por ser doce (SILVA et al., 2022), de cozimento rápido (KE et al., 1986) e com tonalidade laranja atrativa ao consumidor (SILVA et al., 2022).

O principal problema que levou à perda de qualidade da batata doce minimamente processada neste estudo foi o distúrbio causado pelo branqueamento, onde os pedaços envelheceram independente da dose de  $\text{P}_2\text{O}_5$  a que as batatas foram submetidas (Figura 2C). As alterações na qualidade visual foram quantificadas atribuindo-se uma pontuação visual entre 5 e 1, sendo o grau 3 considerado o limite aceitável (SIMOES et al., 2020). Um painel treinado atribuiu essa pontuação para amostras armazenadas no limite de 8 dias, independentemente se as raízes foram derivadas de fertilização fosfatada ou não (Figura 3C). Os resultados não indicaram relação entre as doses de fósforo e os sintomas de clareamento. Vale ressaltar que embora essas batatas apresentassem sintomas de branqueamento que poderiam comprometer a comercialização, quando hidratadas retornaram à cor laranja inicial, semelhante ao observado nos primeiros dias de armazenamento (Figura 2C). A batata-

doce é geralmente cozida no vapor ou fervida em água. Por esse motivo, o armazenamento foi estendido por até 20 dias, mesmo sabendo que o branqueamento poderia comprometer a qualidade visual da batata-doce crua.

As amostras de batata-doce provenientes de solo tratado com fertilizantes fosfatados, após processamento mínimo, apresentaram níveis aumentados de  $\beta$ -caroteno, licopeno e carotenóides totais em seus tecidos, além de flavonóides amarelos e antocianinas, em comparação com a batata-doce controle (Figs. 4A, 4B, 4C, 5A e 5B). Porém, mesmo com essas diferenças de pigmento, não houve diferenças na percepção da brancura, embora outro estudo de Ahmed et al., (2002) tenha relacionado a brancura à degradação do pigmento. Acredita-se que a principal causa do clareamento seja um fenômeno físico relacionado à desidratação (AHMED et al., 2002), conforme também estudado por Cisneros-Zevallos et al., (1995). No presente estudo foi estimada a perda percentual de massa fresca nas peças embaladas provenientes das diferentes adubações  $P_2O_5$ , onde se notou aumento na perda de massa. Ao final do período de conservação, porém, as doses de 120 e 180 kg de  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> foram as que apresentaram maior perda de umidade (Figura 3A). Porém, isso é difícil de explicar na prática, pois não houve diferença no clareamento entre os tratamentos.

A aplicação de  $P_2O_5$  em qualquer dose resultou em maiores teores de flavonóides amarelos e antocianinas, bem como maior capacidade antioxidante pelo método DPPH, vitamina C e compostos fenólicos totais, em comparação ao controle (Figuras 5A, 5B, 6D, 7A e 7B). Além disso, as doses mais elevadas de  $P_2O_5$  resultaram em tecidos minimamente processados mais ricos em compostos fenólicos (Figura 7B), o que pode ser explicado em parte pela maior atividade de PAL (Figura 10C), uma enzima chave no metabolismo dos fenilpropanóides, onde os compostos fenólicos são biossintetizado (CISNEROS-ZEVALLOS et al., 1995). Este fato evidencia a participação do fósforo no acúmulo de compostos fenólicos na batata-doce cv. Paraná, como também observado na mandioca minimamente processada (EUGENIO et al., 2021). Curiosamente, no caso da batata-doce em estudo, o tecido não escureceu intensamente como no citado trabalho de Eugênio et al. (2021), mesmo observando maiores atividades de PPO e POD nos tecidos que foram maiores no solo adubado com fósforo, em comparação ao controle (Figuras 10A e 10B). Acredita-se que a presença de pigmentos e/ou antioxidantes no tecido da batata-doce cv. O Paraná, como visto nas Figuras. 3, 4, 5 e 6, tornaram a planta mais tolerante ao escurecimento enzimático, conforme evidenciado no estudo realizado por Silva et al. (2022).

Portanto, destacamos o importante papel da adubação fosfatada na redução do escurecimento enzimático em raízes de batata-doce colorida minimamente processadas. Mais investigações devem ser realizadas para elucidar as funções do fósforo para complementar o conhecimento evidenciado por Jacobo-Vellazquez et al. (2012) e por Eugênio et al. (2021). Porém, foi relatado que o fósforo aplicado via fertilização é um nutriente que aumenta os compostos bioativos em morangos (TANG et al., 2015) e *Vitex negundo* Linn (DIXON & PAIVA, 1995).

Em relação ao dano oxidativo, foram medidos alguns parâmetros indicativos de dano celular, como TBARS e teor de peróxido de hidrogênio, e a detecção *in situ* de  $H_2O_2$  (Figuras 9 e 10). Em geral, a fertilização fosfatada não aumentou o dano à membrana ou o conteúdo de TBARS (Figura 8A e 8B). Entretanto, os níveis de  $H_2O_2$  foram significativamente maiores nos tecidos de raízes minimamente processadas derivadas da fertilização à base de  $P_2O_5$  (Figura 8C). Além disso,  $H_2O_2$  foi detectado nos tecidos utilizando o reagente DAB e adição de ascorbato como controle. Curiosamente, foi detectado um tecido ligeiramente mais escuro nas raízes resultante da fertilização fosfatada, no início e aos 20 dias (Fig. 8). Estes resultados podem estar associados às maiores atividades de PAL e PPO detectadas nas raízes resultantes da fertilização, sugerindo que embora exista oxidação de fenólicos, contribuindo para a cor mais escura, também a atividade enzimática de PAL é elevada permitindo o acúmulo de fenólicos solúveis. Esta resposta poderia ser mediada pela liberação extracelular de ATP do citoplasma do tecido ferido, que se liga aos receptores de ATP e desencadeia a produção de moléculas sinalizadoras secundárias, como  $H_2O_2$ , em resposta ao fósforo aplicado ao solo (JACOBO-VELÁZQUEZ et al., 2011). Essa resposta da ferida dependente de ATP poderia ser aumentada devido à maior disponibilidade de fosfato na batata-doce cultivada sob fertilização fosfatada, como sugerido anteriormente para a mandioca (EUGENIO et al., 2021; JACOBO-VELÁZQUEZ et al., 2011).

Além disso, estas descobertas contribuem para a discussão de que a fertilização fosfatada pode acelerar a perda da homeostase quando associada ao estresse abiótico causado pelo processamento mínimo, conforme relatado por Cisneros-Zevallos e Jacobo-Velazquez (2020). Isto apoia a ideia de que a batata-doce laranja, com seus tecidos antioxidantes, pode ser um sistema modelo adequado para estudar o efeito da fertilização fosfatada no acúmulo de compostos bioativos durante o armazenamento pós-colheita de tecido minimamente processado. Mais investigações neste campo de

estudo devem ser realizadas para compreender melhor a relação entre o P e a perda da homeostase celular que desestabiliza as reações oxidativas.

Os resultados do presente trabalho mostraram que a biofortificação agrônômica por meio da fertilização com  $P_2O_5$  poderia ser uma ferramenta viável para aumentar os níveis de compostos bioativos em batata-doce com polpa colorida, o que poderia ser aumentado devido ao estresse por ferimentos durante o armazenamento. A adubação  $P_2O_5$  recomendada para solos do Semiárido brasileiro para batata-doce é de  $60 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P } P_2O_5$  (VALENTINUZZI et al., 2015). Dado que o solo estudado apresentou, em média, na camada de até 40 cm,  $4,5 \text{ mg dm}^{-3}$ , é possível que isso tenha favorecido uma maior absorção e aproveitamento de P pelas raízes. É necessário estudar outros produtos hortícolas (raízes ou não) com forte potencial antioxidante. A batata-doce ainda não é explorada para a produção de carotenóides. Este é um vasto campo de exploração, dada a possibilidade de utilização do caroteno como aditivo corante natural na indústria alimentícia (JIN & GUO et al., 2019; CISNEROS-ZEVALLOS & JACOBO-VELÁZQUEZ, 2019). Na indústria farmacêutica e nutracêutica, o caroteno pode prevenir distúrbios de fotossensibilidade, doenças cardiovasculares, diabetes, distúrbios de visão, câncer, distúrbios neurológicos e doenças imunológicas (SOARES et al., 2002). Além do maior teor de fitoquímicos devido à adubação fosfatada, também é importante destacar o aumento do tamanho das raízes (Figura 2A) e do rendimento agroindustrial (Tabela 2), parâmetros cruciais para a sustentabilidade agrônômica e industrial.

## 5 CONCLUSÕES

O presente estudo demonstrou o papel do fósforo na proteção das plantas contra danos oxidativos, induzindo a síntese de compostos antioxidantes e melhorando a qualidade físico-química de batata-doce colorida minimamente processada. A fertilização com  $P_2O_5$  está associada à maior detecção e teor de peróxido de hidrogênio, que foi acompanhada por aumento de compostos fenólicos, vitamina C, flavonóides amarelos, antocianinas, carotenóides, capacidade antioxidante (DPPH), e aumento das atividades das enzimas polifenol oxidase, peroxidase e fenilalanina amônia-liase. Este financiamento no uso da fertilização fosfatada para melhorar a qualidade da batata-doce



tem aplicações na indústria de minimprocessados para gerar produtos com maior teor de moléculas bioativas e maior aceitabilidade pelos consumidores.

## REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. 22: 711-728, 2013.
- AHMED, J.; SHIVHARE, U. S.; SANDHU, K. S. Thermal degradation kinetics of 395 carotenoids and visual color of papaya puree. **Journal of Food Science**. 67:2692–2695, 2002.
- AKHTAR, S.; AHMED, A.; RANDHAWA, M. A.; ATUKORALA, S.; ARLAPPA, N.; ISMAIL, T.; ALI, Z. Prevalence of vitamin A deficiency in South Asia: causes, outcomes, and possible remedies. **Journal of health, population, and nutrition**. v. 31, n. 4, p. 413, 2013.
- BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. L. W. T. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT–Food Science Technology**. 28 (1), 25–30, 1995.
- BENZIE, I. F. F.; STRAIN, J. J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: The FRAP assay. **Analytical Biochemistry**. 239 (1), 70–76, 1996.
- BLOCK, G. Nutrient sources of provitamin A carotenoides in the American diet. **American Journal of Epidemiology**. v. 139, p. 290-293, 1994.
- CHAKRABORTY, C.; ROYCHOWDHURY, R.; CHAKRABORTY, S.; CHAKRAVORTY, P.; GHOSH, D. A. Review on Post-Harvest Profile of Sweet Potato. **International Journal of Current Microbiology**. App. Sci, v. 6, n. 5, p. 1894-1903, 2017.
- CISNEROS-ZEVALLOS, L.; SALTVEIT, M. E.; KROCHTA, J. M. Mechanism of surface white discoloration of peeled (minimally processed) carrots during storage. **Journal of Food Science**. 60, 320–323, 1995.
- CISNEROS-ZEVALLOS, L.; JACOBO-VELÁZQUEZ, D. A. Controlled abiotic stresses revisited: From homeostasis through hormesis to extreme stresses and the impact on nutraceuticals and quality during pre-and postharvest applications in

horticultural crops. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 68 (43), 11877–11879, 2020.

DIXON, R. A.; PAIVA, N. L. Stress-induced phenylpropanoid metabolism. **Plant Cell**. 7 (7), 1085–1097, 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças. **A Cultura da batata-doce**. Brasília: EMBRAPA-SPI. 95p. (Coleção Plantar; 30). Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças. **Cultivo da batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam)**. produções técnicas do CNP Hortaliças. 3ªed. Brasília: EMBRAPA. 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Metodos de Análise de Solos**, 2nd ed.; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria (EMBRAPA), Centro Nacional de Pesquisa de Solos (CNPS): Rio de Janeiro, Brazil, 1997; p 212.

EUGÊNIO, D. S.; FONSECA, K. S.; MARCELINO, A. S. A. N.; SILVA, V. N.S.; FERREIRA-SILVA, S. L.; BARROS-JÚNIOR, A. P.; SILVEIRA, F. P. M.; LOPES, W. A. R.; SANTOS, H. R. B.; SIMÕES, A. N. Phosphate fertilization as a modulator of enzymatic browning in minimally processed cassava. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 69, p. 10058-10068, 2021.

KASNAK, C.; PALAMUTOGLU, R. Effect of Yogurt Serum on Enzymatic and Oxidative Activity in Fresh-Cut Potatoes. **Food Science & Technology**. 1, 1842-1848, 2021.

KE, D.; SALTVEIT, M. E. Effects of calcium and auxin on russet spotting and phenylalanine ammonia-lyase activity in iceberg lettuce. **HortScience**. 21 (5), 1169–1171, 1986.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo Manual de Olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**, Viçosa, 2000. 402 p

FRANCIS, F. J. Analysis of anthocyanins. In P. Markakis (Ed.), **Anthocyanins as Food Colors** (pp. 263). London, UK: **Academic Press**. 1982

FREIRE, C. S.; SIMOES, A. N.; VIEIRA, M. R. S.; BARROS-JÚNIOR, A. P.; COSTA, F. B. Qualidade de raízes de mandioca de mesa minimamente processada nos formatos minitolete e rubiene. **Revista Caatinga**, Mossoró - RN, 27, 4, 2014.

JACOBO-VELÁZQUEZ, D. A.; MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, G. B.; RODRÍGUEZ, S. C.; CAO, C. M.; CISNEROS-ZEVALLOS, L. Plants as biofactories: physiological role of reactive oxygen species on the accumulation of phenolic antioxidants in carrot

tissue under wounding and hyperoxia stress. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 59, n. 12, p. 6583-6593, 2011.

JACOBO-VELÁZQUEZ, D. A.; CISNEROS-ZEVALLOS, L. An alternative use of horticultural crops: stressed plants as biofactories of bioactive phenolic compounds. **Agriculture**. v. 2, n. 3, p. 259-271, 2012.

JIN, L.; GUO, Q. Phosphorus and iron in soil play dominating roles in regulating bioactive compounds of *Glechoma longituba* (Nakai) Kupr. **Scientia Horticulturae**. 256, 108534, 2019.

JUNG, J. K.; LEE, S. U.; KOZUKUE, N.; LEVIN, C. E.; FRIEDMAN, M. Distribution of phenolic compounds and antioxidative activities in parts of sweet potato (*Ipomoea batata* L.) plants and in home processed roots. **Journal of food composition and analysis**. 24, 29-37, 2011.

HEATH, R. L.; PACKER, L. Photoperoxidation in Isolated Chloroplasts: I. Kinetics and Stoichiometry of Fatty Acid Peroxidation. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, 125, 189-198, 1968.

LIN, K. H.; LAI, Y. C.; CHANG, K. Y.; CHEN, Y. F.; HWANG, S. Y.; LO, H. F. Improving breeding efficiency for quality and yield of sweet potato. **Botanical Studies**. 48:283-292, 2007.

MITRA S. Nutritional status of orange-fleshed sweet potatoes in alleviating vitamin A malnutrition through a food-based approach. *J. Nutr. Food Sci.* 2012; v. 2, n. 8, p. 160.

OLSON, P. D.; VARNER, J. E. Hydrogen peroxide and lignification. **Plant Journal**. 4 (5), 887–892, 1993.

REPKA V. Improved histochemical test for in situ detection of hydrogen peroxide in cells undergoing oxidative burst or lignification. **Biology Plant**. 42 (4), 599–607. 1999.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. A guide to carotenoid analysis in foods. Washington: **Internacional Life Sciences Institute Press**, 2001. 64 p

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M. Handbook for carotenoid analysis. Washington: **HarvestPlus**, 2004. 58 p. (HarvestPlus Technical Monograph, 2).

ROESLER, P. V. S. O.; GOMES, S. D.; MORO, E.; KUMMER, A. C. B.; CEREDA, M. P. Produção e qualidade de raiz tuberosa de cultivares de batata-doce no Oeste do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**. v. 30, n. 1, p. 117-122, 2008..

SILVA, V. N. S.; FONSECA, K. S.; ALBUQUERQUE, J. R. T.; SOUZA, J. F. N.; BARROS-JÚNIOR, A. P.; SIMOES, A. N. Harvest time as a modulator of

phytochemicals in sweet potato cultivars for the industry. **Revista Caatinga**. v. 35, p. 956-963, 2022.

SILVA, J. B. C.; LOPES, C. A.; MAGALHÃES, J. S. Cultivo da batata-doce. Brasília: EMBRAPA-CNPQ, **Sistemas de Produção** 6, ISSN 1678-880X. 2009.

SÁNCHEZ-RANGEL, J. C.; BENAVIDES, J.; HEREDIA, J. B.; CISNEROS-ZEVALLOS, L.; JACOBO-VELÁZQUEZ, D. A. The Folin–Ciocalteu assay revisited: improvement of its specificity for total phenolic content determination. **Analytical Methods**, 5(21), 5990, 2013.

SIMÕES, A. N.; ALMEIDA, S. L.; BORGES, C. V.; FONSECA, K. S.; BARROS-JÚNIOR, A. P.; ALBUQUERQUE, J. R. T.; CORREA, C.; MINATEL, I. O.; MORAIS, M. A. S.; DIAMANTE, M.; LIMA, G. P. P. Delaying the harvest induces bioactive compounds and maintains the quality of sweet potatoes. **Journal of Food Biochemistry**. v. 44, p. 1-13, 2020.

SOARES, K. T.; MELO, A. S. de; MATIAS, E. C. **A Cultura da batata-doce** (*Ipomoea batatas* (L.) Lam). João Pessoa: EMEPA-PB, 2002. 26 p.

TANG, Y.; CAI, W.; XU, B. Profiles of phenolics, carotenoids and antioxidative capacities of thermal processed white, yellow, orange and purple sweet potatoes grown in Guilin, China. **Food Science and Human Wellness**. 4, 123–132, 2015.

TEOW, C. C.; TRUONG, V. D.; MCFEETERS, R. F.; THOMPSON, R. L.; PECOTA, K. V.; YENCHO, G. C. Antioxidant activities, phenolic and b-carotene contents of sweet potato genotypes with varying flesh colours. **Food Chemistry**. 103, 829-838, 2007.

VALENTINUZZI, F.; MASON, M.; SCAMPICCHIO, M.; ANDREOTTI, C.; CESCO, S.; MIMMO, T. Enhancement of the bioactive compound content in strawberry fruits grown under iron and phosphorus deficiency. **Journal of the Science Of food and agriculture**. 95, 2088-2094, 2015.

## CAPÍTULO II

### A AÇÃO ANTI-ESCORRIMENTO DA MELATONINA DEPENDE DO TIPO DE TECIDO DA BATATA DOCE MINIMALMENTE PROCESSADA

#### RESUMO

O presente trabalho investigou o efeito da aplicação de melatonina exógena sobre danos, proteção oxidativa e condução de reações oxidativas ao escurecimento e conseqüente acúmulo de antioxidantes na qualidade de raízes de batata-doce de polpa branca e laranja minimamente processadas. Raízes de batata-doce, com polpa branca e laranja, foram minimamente processadas e imersas em solução de melatonina nas concentrações de 0, 10, 100 e 1000  $\mu\text{mol L}^{-1}$ , acondicionadas e mantidas a  $5 \pm 2$  °C por 20 dias. A aplicação de doses crescentes de melatonina durante a conservação das rodela de batata-doce, batata-doce branca e laranja minimizou os sintomas de escurecimento, relacionados ao menor acúmulo de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARs) e extravasamento de eletrólitos. O resultado foi menor dano às membranas celulares, devido à maior proteção enzimática mediada por superóxido dismutase, catalase e ascorbato peroxidase, e metabólitos antioxidantes como vitamina C e compostos fenólicos, evidenciados por um tecido com maior capacidade antioxidante (determinada in vitro pelo FRAP e DPPH). Associado a isso, para as fatias de batata-doce tratadas com as maiores doses de melatonina de 100 e 1000  $\mu\text{mol L}^{-1}$ , os tecidos apresentaram menor atividade da fenilalanina amônia liase, resultando em menor acúmulo de compostos fenólicos. A qualidade mais duradoura foi provavelmente devida à menor atividade de PPO e POD, mantendo maior homeostase redox celular durante a conservação.

**Palavras-chave:** *Ipomoea batatas*, fenilpropanóides, compostos fenólicos, atividade antioxidante.

## ABSTRACT

The present work investigated the effect of the application of exogenous melatonin on damage, oxidative protection, oxidative reactions leading to browning and the resulting antioxidant accumulation on the quality of minimally processed white-fleshed and orange sweet potato roots. Sweet potato roots, with white and orange pulp, were minimally processed and immersed in a melatonin solution at concentrations of 0, 10, 100 and 1000  $\mu\text{mol L}^{-1}$ , packaged and kept at  $5 \pm 2$  °C for 20 days. The application of increasing doses of melatonin during the conservation of sweet potato, white and orange sweet potato slices minimized symptoms of browning, related to lower accumulations of  $\text{H}_2\text{O}_2$ , substances reactive to thiobarbituric acid (TBARs) and electrolyte leakage. The result was less damage to cell membranes, due to greater enzymatic protection mediated by superoxide dismutase, catalase and ascorbate peroxidase, and antioxidant metabolites such as Vitamin C and phenolic compounds, evidenced by a tissue with greater antioxidant capacity (determined in vitro by the FRAP and DPPH). Associated with this, for the sweet potato slices treated with the highest doses of melatonin of 100 and 1000  $\mu\text{mol L}^{-1}$ , the tissues showed lower activity of phenylalanine ammonia lyase, resulting in lower accumulation of phenolic compounds. Longer-lasting quality was probably due to lower PPO and POD activities, maintaining greater cellular redox homeostasis during conservation.

**Keywords:** *Ipomoea batatas*, phenylpropanoids, Phenolic Compounds, Antioxidant activity.

## INTRODUÇÃO

A batata-doce é uma raiz de reserva e possui significativo valor nutricional devido aos seus elevados teores de carboidratos complexos, fibra alimentar, antocianinas,  $\beta$ -caroteno e vitaminas (YANG et al., 2020; ZHU et al., 2020; SUN et al., 2020; SUN et al., 2022; ZHANG et al., 2018). Seu processamento na indústria alimentícia e sua comercialização na forma processada, porém, ocorrem em pequena escala no Brasil; a batata-doce na forma frita, na forma de amido e até mesmo minimamente processada geralmente tem preços diferenciados, competindo com a batata-doce como boa alternativa de comercialização.

A batata-doce minimamente processada tem surgido como uma alternativa promissora à batata-doce crua, uma vez que, após o fatiamento, os compostos fenólicos e a atividade antioxidante são aumentados (SIMÕES et al., 2020; SILVA et al., 2022). Estudos realizados por Jacobo-Velazquez et al. (2011), abordam a produção desses compostos antioxidantes em raízes submetidas ao fatiamento, corroborando a biofabricação de compostos ativos importantes para a saúde humana.

Algumas raízes minimamente processadas, como a mandioca (COELHO et al., 2017) e a batata-doce (SILVA et al., 2022; SIMÕES et al., 2020) são propensas à deterioração devido ao escurecimento e à contaminação microbiana (CHENG et al., 2011). O escurecimento visível da superfície, a desidratação, o amolecimento ou o endurecimento do tecido e a deterioração interna do tecido afetam seriamente a cor, o sabor, o aroma, a textura e comprometem o valor nutricional, o prazo de validade e o valor de mercado dos produtos minimamente processados (GONZALEZ-AGUILAR et al., 2010). Dentre estes, o escurecimento é um dos fatores mais importantes, limitando o desenvolvimento e utilização de produtos minimamente processados. Isto torna importante explorar abordagens biológicas para o controle do escurecimento e investigar seu possível mecanismo funcional para aumentar a comercialização de produtos minimamente processados. O escurecimento enzimático em produtos minimamente processados leva a perdas de qualidade e rejeição por parte dos consumidores; isso se deve a processos de oxidação catalisados por enzimas como a polifenoloxidase e a peroxidase (DEGLINNOCENTI et al., 2005; SIMÕES et al., 2015), que utilizam compostos fenólicos como substratos. Nas raízes de batata-doce minimamente processadas, a evolução do escurecimento é modulada pelo genótipo: geralmente, as cultivares pigmentadas apresentam escurecimento menos perceptível

(SIMÕES et al., 2020); por idade de colheita (SILVA et al., 2022); e pela adubação fosfatada (SILVA et al., 2023).

As tecnologias pós-colheita também têm sido utilizadas para mitigar os efeitos da deterioração fisiológica pós-colheita, incluindo o escurecimento enzimático das raízes, como a batata-doce. A aplicação de melatonina de forma exógena na pós-colheita de hortaliças melhora a conservação pós-colheita, ao contrário dos meios tradicionais, como a aplicação de produtos químicos.

Estudos demonstraram que a ingestão de produtos com melatonina ou de plantas comestíveis ricas em melatonina pode ter efeitos benéficos, como retardar o envelhecimento, regular o ritmo biológico, atividades anti-inflamatórias, combater o câncer e melhorar disfunções fisiológicas (JAN et al., 2009; REITER et al., 2010; MAURIZ et al., 2013; CARRILLO-VICO et al., 2013; GARCIA et al., 2015). Além disso, a melatonina ajuda a manter a qualidade pós-colheita em vegetais e frutas como pêssegos (GAO et al., 2016), uvas (MENG et al., 2016), maçãs (CHEN et al., 2020), morangos (AGHDAM et al., 2020), repolho (ZHANG et al., 2016) e mandioca (HU et al., 2016).

A aplicação exógena de melatonina remove o excesso de espécies reativas de oxigênio (ROS) de frutas e vegetais pós-colheita, aumentando enzimas antioxidantes, antioxidantes não enzimáticos e enzimas relacionadas ao reparo de proteínas oxidadas. Além disso, a aplicação exógena de melatonina pode aumentar a melatonina endógena para aumentar seus efeitos em vários processos fisiológicos (XU; CHEN & KANG, 2019), agindo assim como um biofortificante. Estudos recentes demonstraram que a melatonina exógena pode reduzir significativamente o teor de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> nas raízes de mandioca, resultando no retardo dos sintomas de deterioração fisiológica pós-colheita causados por danos durante a colheita e tratamento, prolongando o período de conservação dessas raízes (HU et al., 2016; MA).

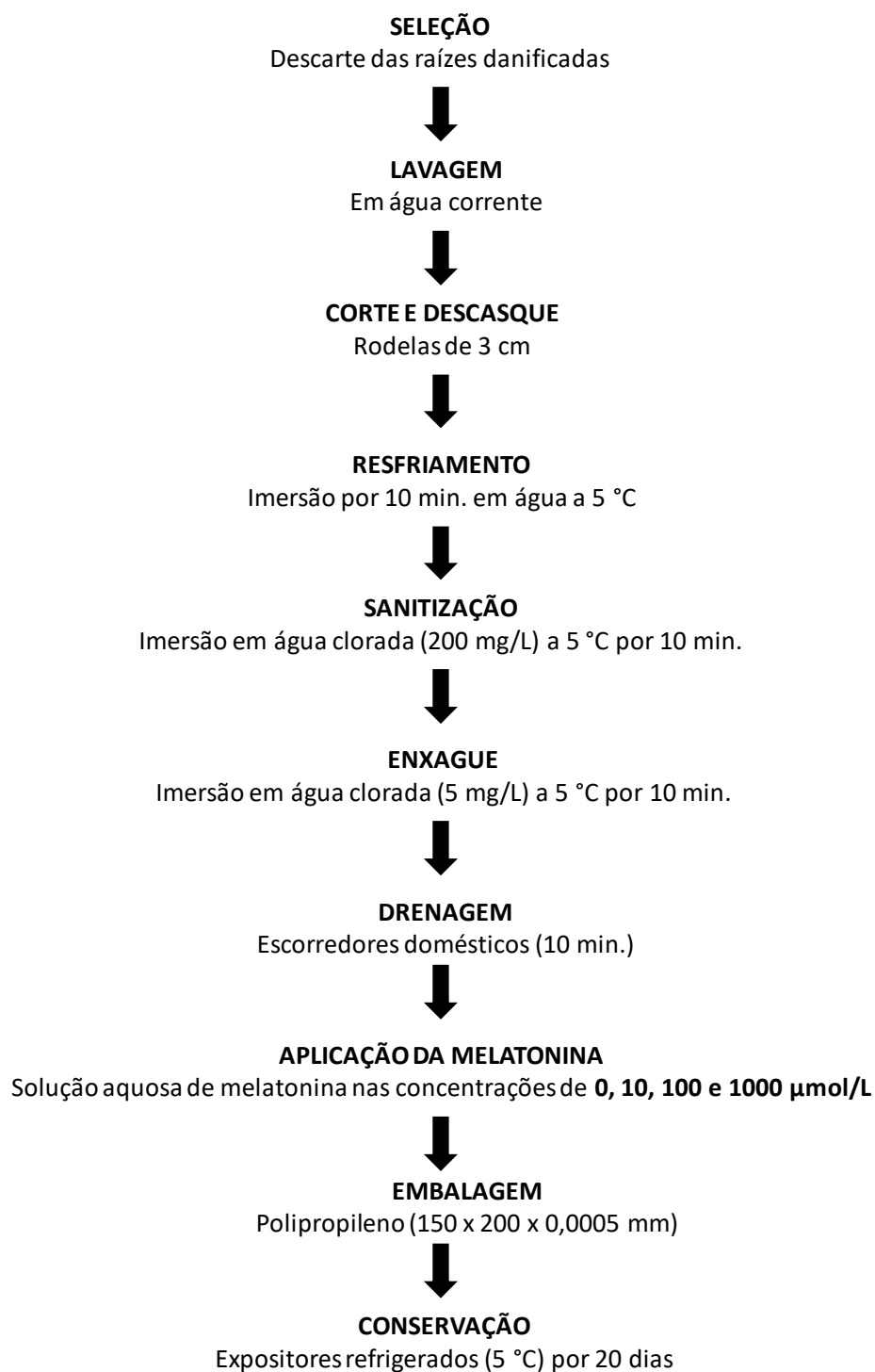
Na batata-doce de polpa alaranjada, a melatonina exógena na concentração de 500 µM foi capaz de reduzir o acúmulo de substâncias fenólicas no substrato escurecido, inibindo a atividade das enzimas fenilalanina amônia liase, polifenoloxidase e peroxidase. A melatonina também foi capaz de melhorar o processo antioxidante, aumentando as atividades das enzimas antioxidantes e promovendo o acúmulo de antioxidantes não enzimáticos, que removem o excesso de EROS e mantêm a homeostase redox celular. (LI et al., 2022). No entanto, os efeitos da melatonina exógena nas raízes da batata-doce de polpa branca não são conhecidos.



Neste estudo, raízes de batata-doce de polpa branca e laranja minimamente processadas foram utilizadas para explorar o mecanismo funcional da melatonina exógena no escurecimento. A qualidade visual da batata-doce minimamente processada, os indicadores de oxidação e as atividades enzimáticas relacionadas à via antioxidante foram investigados durante o armazenamento de batata-doce recém-cortada com polpa branca e laranja. Este estudo pode fornecer informações sobre estratégias de aplicação apropriadas para retardar o escurecimento pós-colheita de batata-doce de polpa branca e laranja minimamente processada.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

As raízes de batata-doce foram adquiridas e transportadas para o Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PGPV) da Unidade Acadêmica de Serra Talhada da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UAST/UFRPE), localizada no município de Serra Talhada, em estado de Pernambuco, Brasil. As raízes foram selecionadas, as que estavam fora dos padrões comerciais foram descartadas e apenas as de boa qualidade foram utilizadas no processamento mínimo. Em seguida foram lavadas com água corrente, retirada a periderme, em seguida as raízes de batata-doce foram cortadas em rodela, com tamanho médio uniforme de aproximadamente 3 cm de espessura e diâmetro médio variando de acordo com cada cultivar. Após isso, foi realizado resfriamento em água a 5 °C por 10 minutos, seguido de sanitização por 10 minutos em água a 5 °C, concentração de 200 mg L<sup>-1</sup> de cloro ativo, e enxaguado em água gelada contendo 5 mg L<sup>-1</sup> de cloro ativo por 10 minutos. As fatias foram escorridas em peneiras domésticas por 10 minutos. Logo após, foram imersos por 10 minutos em solução aquosa de melatonina nas concentrações de 0, 10, 100 e 1000 µmol L<sup>-1</sup> a 5°C, e acondicionados em embalagens de polipropileno (150 x 200 x 0,0005 mm de espessura) e mantidos a 5 ± 2°C, por 20 dias. O processamento mínimo descrito a seguir foi realizado conforme Silva et al. (2022), com adaptações (Figura 1).








**Figura 1.** Fluxograma utilizado para raízes de batata-doce, adaptado de Silva et al. (2022). Com imersão em solução aquosa de melatonina resfriada a 5 °C, nas concentrações de 0, 10, 100 e 1000 µmol L<sup>-1</sup>, armazenada a 5 ± 2 °C e 90 ± 5% UR, por 20 dias.

As análises foram realizadas nos dias 0, 4, 8, 12, 16 e 20. Em cada momento de amostragem foram coletadas amostras com córtex  $\pm$  2 mm de espessura, congeladas em nitrogênio líquido e armazenadas em ultra freezer (-80 °C).

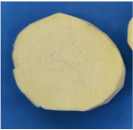




## 2.1 Avaliação visual (aparência geral), perda de massa fresca e sólidos solúveis totais

A qualidade visual foi avaliada por um painel de avaliadores treinados para determinar a presença ou ausência de manchas escuras, estrias e descoloração na superfície de uma fatia de polpa de batata, além da presença de odor, proliferação de *Pseudomonas* spp. e branqueamento nas amostras. Pontuações de 5 a 1 foram atribuídas subjetivamente, conforme descrito por Simões et al. (2020) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Escala tipo Likert com cinco pontos para análise visual de batata doce de polpa alaranjada minimamente processada em formato ‘rodela’.

IMAGENS	NOTAS	DESCRIÇÃO
	5	Superfície laranja uniforme característica, com 0% de esbranquecimento com boa aparência para consumo e comercialização.
	4	Leve esbranquecimento na região central não chegando a 5% da superfície, sendo ainda própria para o consumo e comercialização.
	3	Esbranquecimento moderado, e perda da coloração característica atingindo mais de 10% da superfície, sendo imprópria para o consumo e comercialização.
	2	Moderados esbranquecimento e perda da coloração, em toda superfície acima de 50%, sendo imprópria para o consumo e comercialização.
	1	Esbranquecimento e perda da coloração intensa em toda superfície acima de 50%, sendo imprópria para o consumo.

**Tabela 2.** Escala tipo Likert com cinco pontos para análise visual de batata-doce de polpa branca minimamente processada em formato ‘rodela’.

IMAGENS	NOTAS	DESCRIÇÃO
	5	Superfície branca uniforme, com 0% de escurecimento, com boa aparência para consumo e comercialização.
	4	Leve escurecimento na região periférica não chegando a 5% da superfície, sendo ainda própria para o consumo e comercialização.
	3	Escurecimento moderado na região periférica e do floema secundário, atingindo mais de 10% da superfície, sendo imprópria para o consumo e comercialização.
	2	Escurecimento em toda superfície acima de 50%, sendo imprópria para o consumo e comercialização.
	1	Esbranquecimento intenso em toda superfície acima de 50%, sendo imprópria para o consumo.

A perda relativa de massa fresca, expressa em termos percentuais, foi calculada pela diferença com a massa fresca inicial, conforme a seguinte fórmula:

$$PMF = \left[ \frac{(PFI - PFF)}{PFI} \right] \times 100$$

Onde PFI é o peso fresco inicial após processamento (g); e PFF é o peso fresco final obtido após intervalos de 2 dias. As embalagens foram pesadas em balança semianalítica (ARD 110, OHAUS Adventurer, Parsippany-EUA).

Para a determinação dos sólidos solúveis, aproximadamente 30 g de rodelas de batata-doce foram maceradas com auxílio de almofariz e pistilo de porcelana. O suco obtido foi adicionado ao prisma de um refratômetro e o resultado foi expresso em porcentagem.

## 2.2 Extravasamento de eletrólitos, quantificação de peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica

Para determinar o extravasamento de eletrólitos, cubos de aproximadamente 2 g de batata-doce foram adicionados a tubos de ensaio contendo 15 mL de água ultrapura e deixados em repouso por 30 min. Em seguida foi medido o valor inicial de extravasamento (V1). Após isso, os tubos foram mantidos em banho-maria a 95 °C por 30 min, em seguida foi feita a leitura final do extravasamento (V2). Ambas as leituras foram feitas com condutivímetro eletrônico. Assim, o extravasamento de eletrólitos foi determinado de acordo com a seguinte equação:

$$EE (\%) = \frac{V1}{V2} \times 100$$

A quantificação do peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) foi realizada conforme Kasnak & Palamutoglu (2021) com modificações. Amostras de 0,1 g de tecido foram maceradas com 2,0 mL de ácido tricloroacético (TCA) a 1%. O extrato foi centrifugado a 1200 rpm por 15 min a 4°C. Para a reação, 0,6 mL do sobrenadante com 0,7 mL de tampão fosfato de potássio e 0,7 mL de solução de iodeto de potássio foram combinados e mantidos em repouso por 30 min, sendo então realizadas leituras em 390 nm. O teor de peróxido de hidrogênio foi estimado em mg 100 g<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

A peroxidação lipídica foi estimada pelo teor de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS), segundo Heath e Packer (1968). 0,1 g de amostras de tecido foram maceradas em almofariz com 1,0 ml de ácido tricloroacético (TCA) a 6%. O extrato foi centrifugado a 7.960 rpm por 15 min a 4°C. Em seguida, 0,5 mL do sobrenadante foram adicionados a 1,5 mL do meio reacional contendo 20% de TCA (p/v) e 0,5% de TBA (p/v), em tubos fechados. Os tubos foram mantidos a 95°C por 1 hora, seguido de banho de gelo a 5°C. Em seguida, foram feitas leituras em 532 e 660 nm. O teor de TBARS foi estimado utilizando o coeficiente de extinção molar de 155 mM<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup> e expresso em nmol g<sup>-1</sup> MF.

## 2.3 Extrações e ensaios enzimáticos

### 2.3.1 Superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX)

O extrato foi obtido homogeneizando 0,12 g de tecido da região superficial em 2 mL de tampão fosfato de potássio (0,1 M) (pH 7,0). Em seguida, o extrato foi centrifugado a 7.960 x g por 23 min a 4°C.

A atividade da SOD foi determinada conforme descrito por Giannopolitis e Ries (1977), com adaptações. Alíquotas de 100 µL de sobrenadante foram adicionadas a 1.660 mL de tampão fosfato de potássio (50 mM) (pH 7,8) contendo (1 µM de EDTA e 13 mM de metionina), 200 µL de cloreto de nitro azul tetrazólio (NBT) (750 µM) e 40 µL de riboflavina (1mM). A reação foi conduzida em câmara de luz, composta por lâmpadas fluorescentes de 18 W, por 15 min. Após esse período, as leituras foram realizadas em espectrofotômetro (Biochrom, Libra S8, Cambridge, Inglaterra) a 560 nm. A atividade foi determinada com base na inibição da redução do NBT, com uma unidade de atividade definida como a quantidade de enzima necessária para inibir 50% da fotorredução (Beauchamp e Fridovich, 1971). Os resultados foram expressos em U g<sup>-1</sup> MF.

O ensaio CAT foi determinado de acordo com Havir e Mchale (1987), com modificações. Alíquotas de 300 µL do sobrenadante foram adicionadas a 2,7 mL de tampão fosfato de potássio (50 mM, pH 7,0) contendo H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (20 mM). A reação foi realizada a 30 °C e foi acompanhada por um declínio na absorbância a 240 nm por 2 min, com leituras sucessivas realizadas a cada 30 s. A atividade da catalase foi calculada com base no coeficiente de extinção molar de 36 M<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup> para H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e expressa em µmol H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> min<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> MF.

A atividade APX foi determinada conforme proposto por Nakano e Asada (1981), com adaptações. Alíquotas de 100 µL do sobrenadante foram adicionadas a um meio reacional composto por 2.700 µL de tampão fosfato de potássio (50 mM, pH 6,0), contendo ácido ascórbico (AsA; 0,5 mM). A reação foi iniciada pela adição de 200 µL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (30 mM) ao meio reacional e monitorada com base no declínio da absorbância com espectrofotômetro a 290 nm, por 2 min, com leituras sucessivas realizadas em intervalos de 30 s. A atividade foi calculada com base no coeficiente de extinção molar de 2,8 mM<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup> e expressa em µmol H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> min<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> MF.

### 2.3.2 Fenilalanina Amônia Liase (PAL)

A atividade PAL foi determinada seguindo a metodologia descrita por Ke e Saltveit (1986), com adaptações. Amostras de 0,5 g de tecido vegetal foram coletadas e homogeneizadas em almofariz com 3 mL de tampão borato de sódio (0,1 M, pH 8,8), composto por  $\beta$ -mercaptoetanol (5 mM), EDTA (2 mM) e polivinilpirrolidona insolúvel a 1%. (PVPP) (c/v). Posteriormente, o extrato enzimático foi filtrado e centrifugado a 25.000 xg por 20 min a 4°C.

Para o ensaio, 1,5 mL de L-fenilalanina (60 mM) foram adicionados a um tampão borato (0,1 M, pH 8,8), que foi mantido a 40 °C por 15 min. Em seguida, foram adicionados 0,5 mL do extrato enzimático. Após 20 min de incubação a 40 °C, a absorvância foi medida a 290 nm com um espectrofotômetro (Biochrom, Libra S8, Cambridge, Inglaterra). A atividade da enzima PAL foi expressa como  $\Delta\text{Abs h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ .

### 2.3.3 Polifenol oxidase (PPO) e peroxidase (POD)

As enzimas PPO e POD foram extraídas e sua atividade testada conforme Freire et al. (2015), com adaptações. Amostras de 0,25 g da região superficial do tecido foram maceradas e homogeneizadas em 1,5 mL de tampão fosfato de potássio 0,2 M (pH 6,0). O extrato foi centrifugado a 10.000 g por 21 min a 4°C.

O ensaio de PPO foi realizado adicionando 100  $\mu\text{L}$  de sobrenadante a um meio reacional contendo 1,5 mL de tampão fosfato de potássio (0,2 M, pH 6,0) e 1,3 mL de catecol (0,2 M), previamente mantido a 25 °C em banho seco. As leituras foram realizadas em intervalos de 30 segundos durante 2 minutos, com espectrofotômetro (Biochrom, Libra S8, Cambridge, Inglaterra) a 425 nm, à temperatura de 25 °C. A atividade da PPO foi calculada com base no coeficiente de extinção molar de 3400  $\text{M cm}^{-1}$  para catecol e foi expressa em  $\mu\text{mol catecol min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ .

O ensaio POD foi realizado adicionando 100  $\mu\text{L}$  de sobrenadante a um meio reacional contendo 1 mL de tampão fosfato de potássio (0,2 M, pH 6,0), 100  $\mu\text{L}$  de guaiacol (40 mM) e 100  $\mu\text{L}$  de peróxido de sódio. hidrogênio (23 mM) que foi previamente mantido a uma temperatura de 25 °C em banho seco. As absorvâncias foram lidas em intervalos de 30 segundos, durante 2 minutos, utilizando um espectrofotômetro (Biochrom, Libra S8, Cambridge, Inglaterra) a 470 nm. A atividade



da POD foi calculada com base no coeficiente de extinção molar do guaiacol de 26,6 mM<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup> e expressa em μmol guaiacol min<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> MF.

#### **2.4 Flavonóides amarelos e antocianinas, carotenóides totais e determinações e obtenção de extratos para teste *in vitro* de atividade antioxidante (DPPH e FRAP)**

Os flavonóides amarelos e antocianinas foram quantificados conforme metodologia proposta por Francis (1982) com modificações. Um grama de batata-doce foi pesado e homogeneizado com 30 mL de solução de etanol-HCl (1,5 N) por 2 min. A amostra foi filtrada e o volume ajustado para 50 mL. Em seguida, o extrato foi transferido para tubos envoltos em papel alumínio e mantidos em repouso por 12 horas a 4 °C. O branco foi composto apenas pela solução etanol-HCl (1,5N). As leituras foram realizadas em espectrofotômetro (modelo Libra S8, Biochrom) a 535 nm para antocianinas e 374 nm para flavonóides.

Os cálculos foram feitos usando as seguintes fórmulas:

$$\text{Conteúdo de antocianinas} = \frac{(\text{Abs}_{535\text{nm}} \times 50.000)}{98,2}$$

$$\text{Conteúdo de flavonoides} = \frac{(\text{Abs}_{374\text{nm}} \times 50.000)}{76,6}$$

Os extratos para avaliação da atividade antioxidante *in vitro* foram obtidos macerando 0,4 g de amostras frescas com 2 mL de metanol e deixados em repouso por 24 horas. Após esse período, os extratos foram centrifugados a 9.000 g por 21 min a 5 °C.

O teor de carotenoides das amostras foi determinado segundo metodologia analítica de separação e extração dos compostos com solventes orgânicos. Amostras de batata doce (0,25 g) foram pesadas e adicionadas a 1,25 mL de acetona, 1,25 mL de metanol e 2,5 mL de hexano. O extrato foi então mantido em repouso por 24 horas ao abrigo da luz. Após esse período, as amostras foram centrifugadas a 9.000 rpm por 5 min a 4 °C. Para determinações de licopeno foi utilizada a absorvância lida a 470 nm e para o β-caroteno, a absorvância lida a 450 nm. Assim, os carotenóides foram determinados conforme a Equação 3 (RODRIGUEZ-AMAYA, 2001; RODRIGUEZ-AMAYA & KIMURA, 20004).

$$\text{Conteúdo de carotenoides} = \frac{A \times V \times 1.000.000}{A_{1\text{cm}}^{1\%} \times M \times 100}$$

Onde: A = absorvância da solução a 470 nm para o licopeno e 450 nm para o  $\beta$ -caroteno; V = volume final da solução;  $\epsilon$  = coeficiente de extinção molar de cada pigmento no solvente específico (3450 para licopeno e 2592 para  $\beta$ -caroteno); M = massa das amostras para análise.

A capacidade antioxidante pelo método DPPH foi determinada conforme proposto por Brand-Williams et al. (1995), com adaptações. Para o ensaio, foram combinados 840  $\mu\text{L}$  de solução DPPH (0,1 mM) e 60  $\mu\text{L}$  de sobrenadante. O ensaio controle foi preparado adicionando 840  $\mu\text{L}$  da solução DPPH e 60  $\mu\text{L}$  do sobrenadante. Após 30 min de reação, as leituras foram feitas em espectrofotômetro (Biochrom, Libra S8, Cambridge, Reino Unido) a 517 nm, a 25 °C. O declínio na absorção das amostras gerou o percentual de sequestro de radicais livres (% FRS), que foi calculado pela seguinte equação:

$$\text{Porcentagem de inibição} = \frac{(\text{Abs. controle DPPH} - \text{Abs. amostra})}{\text{Abs. controle DPPH}} \times 100$$

A atividade antioxidante, avaliada pelo poder de redução do ferro, foi mensurada conforme metodologia proposta por Benzie e Strain (1996) com adaptações. Para o ensaio, uma alíquota de 900  $\mu\text{L}$  de reagente FRAP (mistura contendo tampão acetato 0,3 M pH 3,6, TPTZ 0,8 M e cloreto férrico 1,66 mM) foi misturada com 90  $\mu\text{L}$  de água destilada e 30  $\mu\text{L}$  do sobrenadante. A solução foi então homogeneizada em agitador tubular e mantida no escuro por 30 minutos a 37°C. Após a incubação, as leituras foram realizadas em espectrofotômetro (Biochrom, Libra S8, Cambridge, Reino Unido) a 594 nm, a 25 °C. Para o branco foram utilizados 900  $\mu\text{L}$  de reagente FRAP, 90  $\mu\text{L}$  de água destilada e 30  $\mu\text{L}$  de extrator (metanol). O potencial antioxidante dos extratos foi determinado a partir de uma curva de calibração, traçada com sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) em concentrações de 0 a 1500  $\mu\text{M}$ . Os resultados foram expressos em  $\text{mmol Fe}^{2+} \text{ kg}^{-1}$ .

## 2.5 Fenóis solúveis totais e vitamina C

A extração e quantificação dos fenóis solúveis totais foram realizadas conforme método proposto por Freire et al. (2014), com adaptações. A vitamina C foi quantificada para o mesmo extrato, conforme proposto por Sánchez-Rangel et al. (2013). Uma porção (0,25 g) de batata-doce foi pesada em um almofariz contendo 1,5 mL de metanol puro. O extrato permaneceu em repouso por 20 horas no escuro a 4°C e centrifugado a 10.000 xg a 2°C por 21 min. Foram misturados 150 µL do sobrenadante, 2.400 µL de água destilada e 150 µL de Folin Ciocalteu (0,25 N). A mistura foi homogeneizada por 3 minutos e em seguida foi realizada a leitura da vitamina C a 765 nm. A concentração de vitamina C foi calculada a partir da curva padrão de ácido ascórbico de 0,1 a 3,0 mM, e o resultado foi expresso em mg de ácido ascórbico g<sup>-1</sup> FW. Após a leitura, foram adicionados 300 µL de carbonato de sódio (1N) à mistura contendo a amostra e Folin Ciocalteu e mantidos no escuro em temperatura ambiente por 2 h. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro (Biochrom, Libra S8, Cambridge, Reino Unido) a 765 nm, e o resultado foi expresso em mg de ácido gálico 100g<sup>-1</sup> FW, comparado a uma curva padrão de ácido gálico para fenóis solúveis.

## 2.6 Delineamento experimental e análise estatística

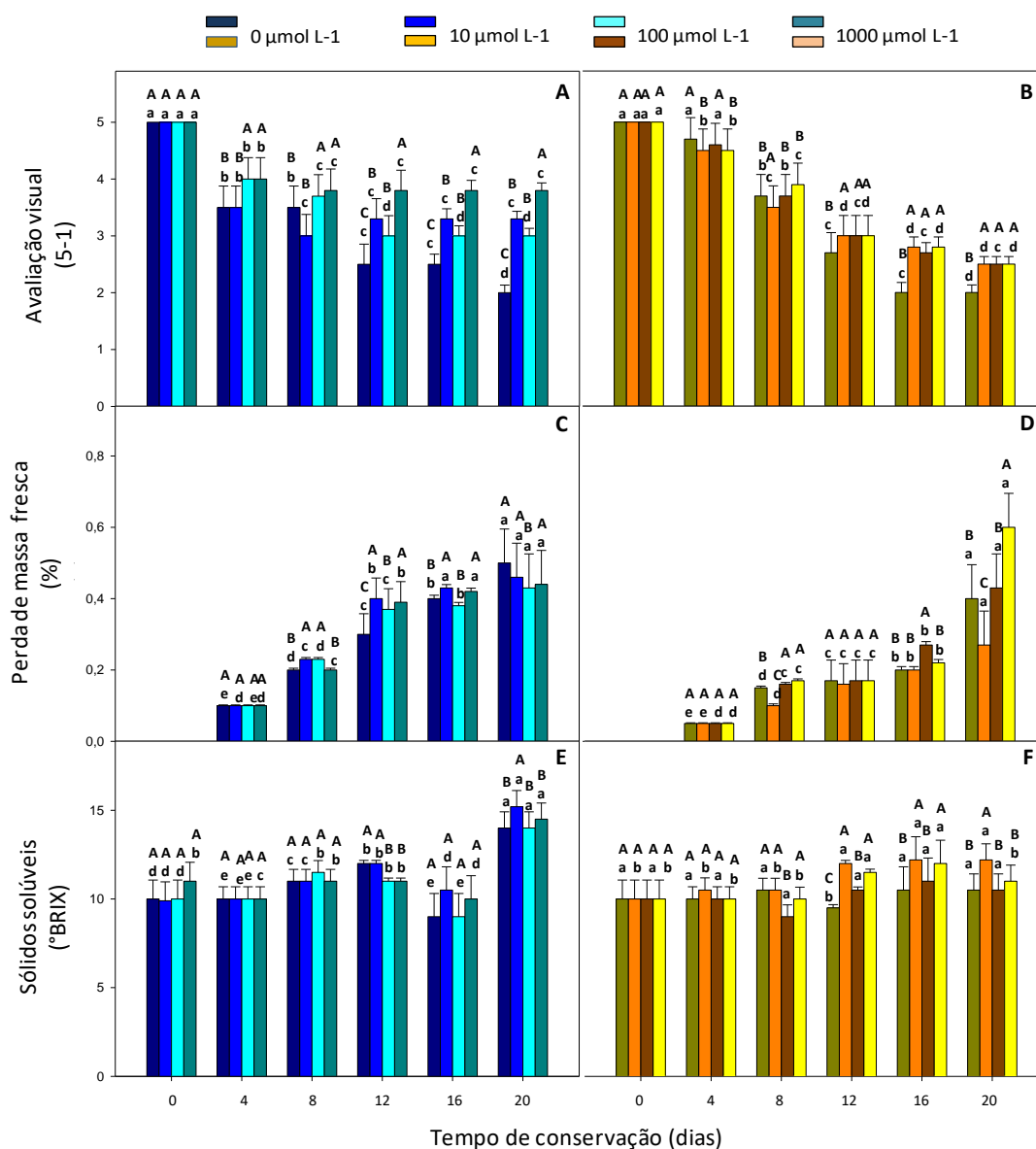
O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com arranjo fatorial 4 × 6, representado por quatro tratamentos (concentração de melatonina: 0, 10, 100 e 1000 µmol L<sup>-1</sup>) e seis dias de avaliação (0, 4, 8, 12, 16 e 20 dias), com cinco repetições. Cada unidade experimental foi representada por uma embalagem contendo aproximadamente 150 g de raízes de batata-doce fatiadas minimamente processadas. Os dados foram submetidos aos testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e homocedasticidade (Levene), análise de variância e teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o software SAS, e os gráficos foram construídos no software Sigma Plot, versão 11.0.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Avaliação visual (aparência geral), perda de massa fresca e sólidos solúveis totais

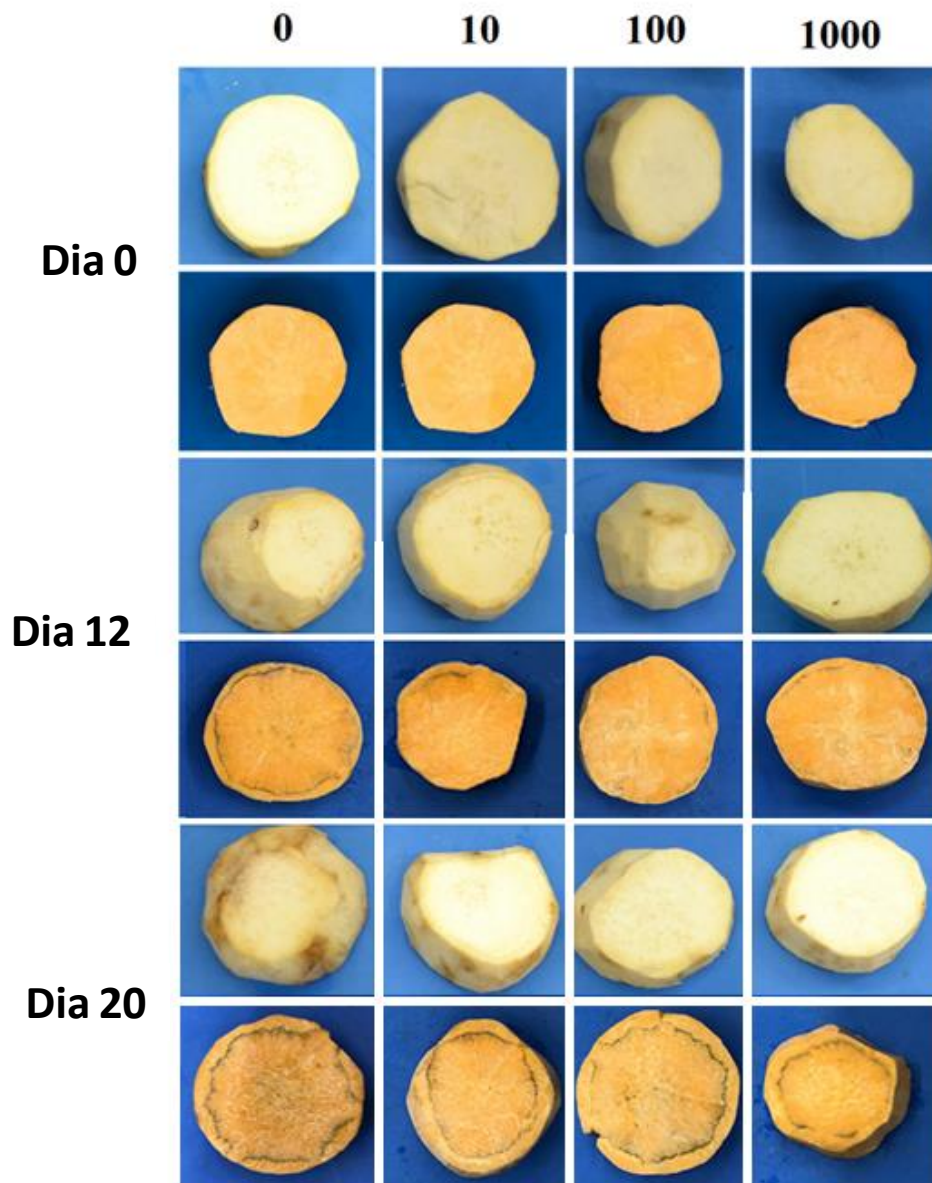
Na avaliação visual, as fatias de batata doce de polpa branca tratadas com melatonina permaneceram acima do limite aceitável para venda e consumo, representado pela nota 3 (Figura 2A) por até 20 dias. Para a batata-doce de polpa alaranjada, após 12 dias de avaliação, todos os pedaços, tratados ou não com melatonina, já apresentavam notas abaixo de 3 (Figura 2B). Essa queda acentuada após curto período de tempo ocorreu devido a sintomas de escurecimento na região do câmbio vascular (Figura 3). Curiosamente, aos 20 dias, as manchas pretas na batata-doce de polpa branca apareceram apenas na superfície, enquanto na batata-doce laranja apareceram na região do câmbio vascular (Figura 3). Além disso, é possível notar um alívio dos sintomas de escurecimento à medida que a concentração de melatonina aumenta (Figura 3).

Pedaços de batata-doce apresentaram perda mínima de massa fresca (menos de 1%) em todos os níveis de melatonina, tanto para fatias de batata-doce de polpa branca quanto para fatias de batata-doce de polpa laranja (Figura 2C). Um fato curioso foi que para as fatias de batata de polpa branca, ao final do período de conservação, as maiores taxas de perda de massa ocorreram nas fatias tratadas com 0 e 10  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de melatonina (Figura 2C). Para batata-doce de polpa alaranjada, as maiores taxas de perda de massa ocorreram nos tratamentos com 100 e 1000  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de melatonina (Figura 2D). O teor de sólidos solúveis totais aumentou ligeiramente até os 20 dias, principalmente nas batatas doces brancas e laranja tratadas com 10  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de melatonina (Figuras 2E e F).



**Figura 2.** Avaliação visual (5-1) (A, polpa branca) (B, polpa laranja), perda de massa fresca (%) (C, polpa branca) (D, polpa laranja) e sólidos solúveis (°BRIX) (E, polpa branca) (F, polpa de laranja) em raízes de batata-doce de polpa branca e polpa alaranjada tratadas com diferentes concentrações de melatonina (0, 10, 100 e 1000  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ), minimamente processadas e armazenadas por 20 dias a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  e  $90 \pm 5\%$  de umidade relativa. As barras representam o desvio padrão da média. Letras maiúsculas comparam as diferentes concentrações de melatonina e letras minúsculas comparam os dias de armazenamento.

## Concentração de melatonina ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ )

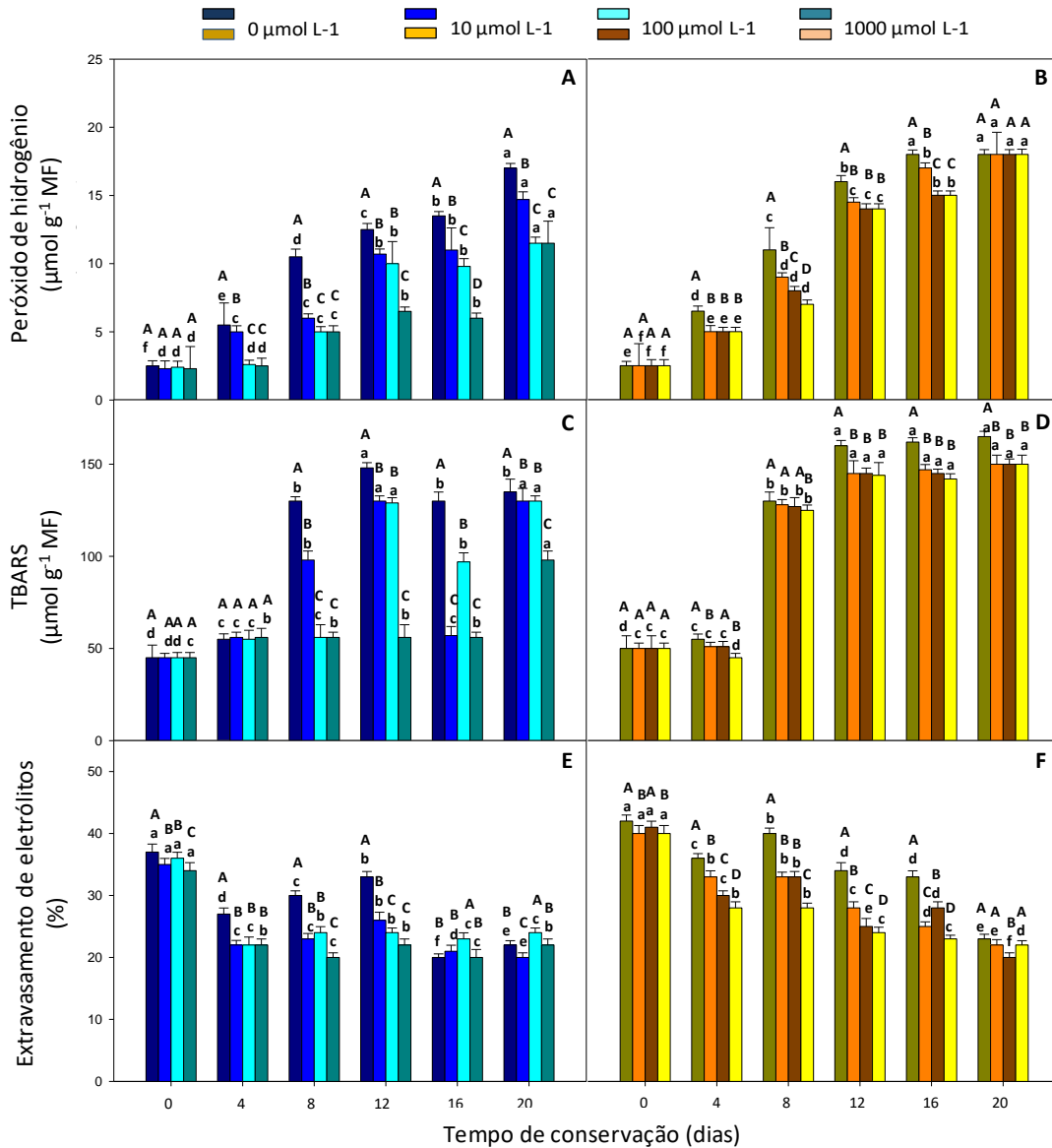


**Figura 3.** Aparência visual de raízes de batata-doce de polpa branca e de polpa alaranjada tratadas com diferentes concentrações de melatonina (0, 10, 100 e 1000  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ), minimamente processadas aos 0, 12 e 20 dias a  $5 \pm 2^\circ \text{C}$  e  $90 \pm 5\% \text{UR}$ .

### *3.2 Conteúdo de peróxido de hidrogênio, conteúdo de TBARS e vazamento de eletrólitos*

Os teores de peróxido de hidrogênio e TBARS foram sempre maiores nas peças controle, ao longo da conservação, independente do tipo de batata-doce (Figuras

4A, B, C e D). Os menores teores foram observados nas rodelas tratadas com os maiores teores de melatonina 100 e 1000  $\mu\text{mol L}^{-1}$  (Figuras 4A, B, C e D). No vazamento de eletrólito foi observada queda na conservação (Figuras 4E e F). Além disso, em apenas alguns dias de conservação, as fatias de batata controle apresentaram aumentos significativos nos valores de vazamento em comparação com as outras fatias tratadas com melatonina (Figuras 4E e F).



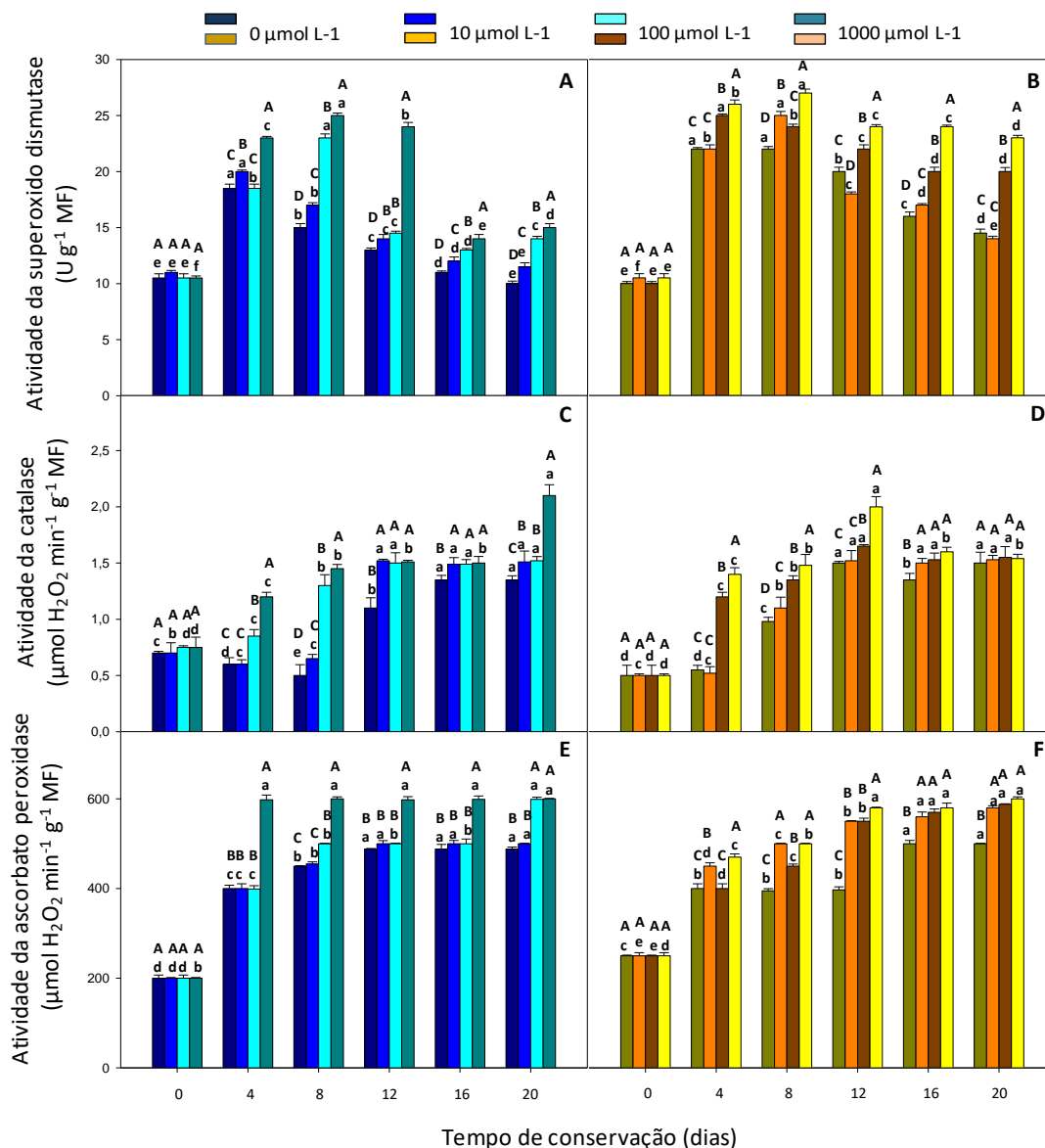
**Figura 4.** Peróxido de hidrogênio ( $\mu\text{mol g}^{-1}$  MF) (A, polpa branca) (B, polpa laranja), teor de TBARS ( $\mu\text{mol g}^{-1}$  MF) (C, polpa branca) (D, polpa laranja) e vazamento de eletrólitos (%) (E, polpa branca) (F, polpa laranja) em raízes de batata-doce de polpa branca e polpa alaranjada tratadas com diferentes concentrações de melatonina (0, 10, 100 e 1000  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ), minimamente processadas e armazenadas por 20 dias a  $5 \pm 2$  °C e  $90 \pm 5$  % de umidade relativa. As barras representam o desvio padrão da média. Letras

maiúsculas comparam as diferentes concentrações de melatonina e letras minúsculas comparam os dias de armazenamento.

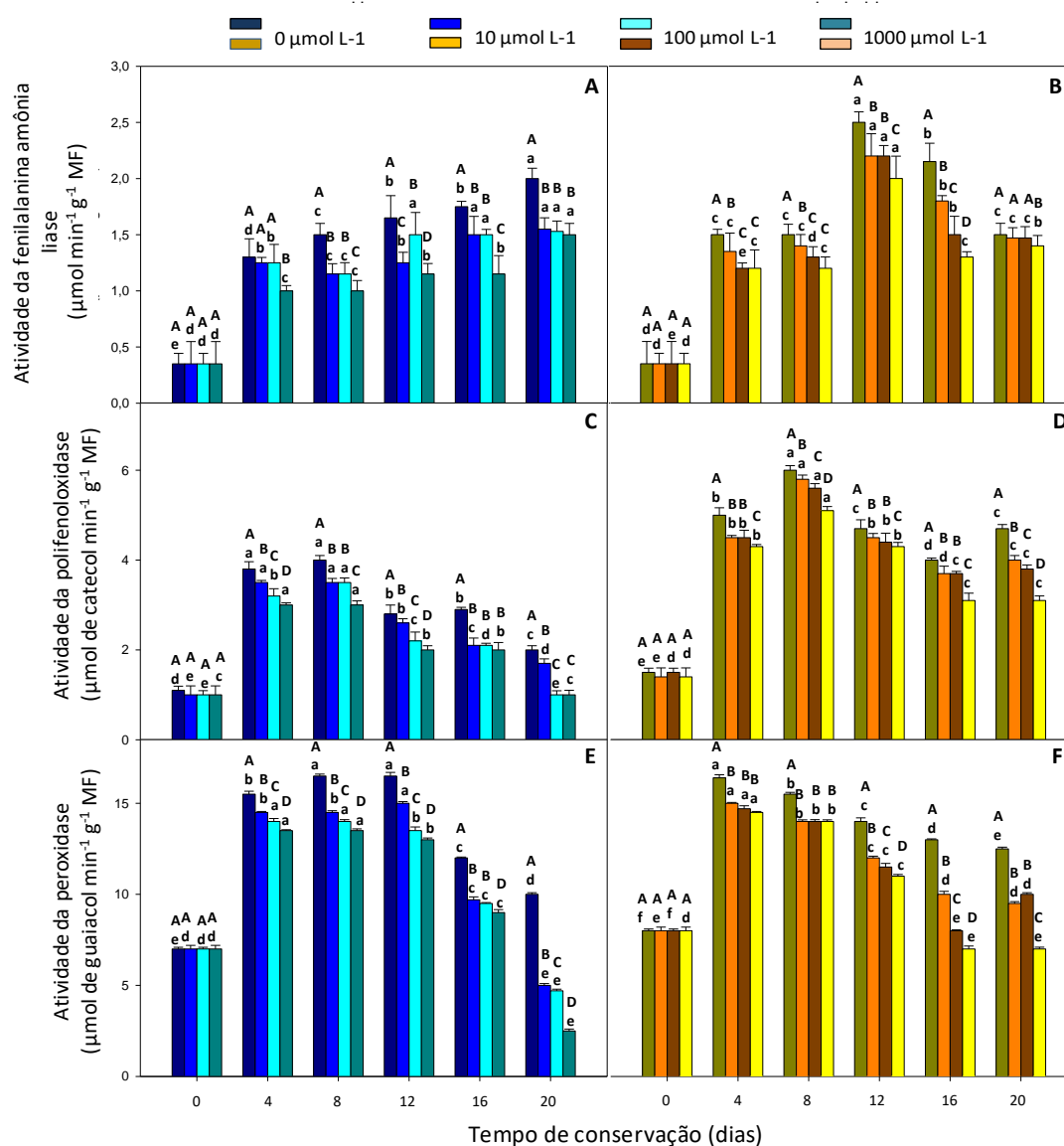
### ***3.3 Atividades CAT, APX, SOD, PPO, POD e PAL***

A atividade de SOD, CAT e APX aumentou durante o armazenamento para batata-doce de polpa branca e de polpa laranja (Figura 5). Além disso, tanto nas fatias de batata doce, branca quanto na laranja, a aplicação de melatonina na concentração mais alta, 1000  $\mu\text{mol L}^{-1}$ , resultou em maiores atividades de SOD, CAT e APX (Figura 5). As fatias de batata doce branca e laranja que não receberam melatonina tenderam a apresentar maiores atividades PAL, PPO e POD durante os períodos estudados (Figura 6). Por outro lado, na batata-doce tratada com os maiores níveis de melatonina 100 ou 1000  $\mu\text{mol L}^{-1}$ , houve menor atividade dessas enzimas durante a conservação (Figura 6).





**Figura 5.** Atividade de superóxido dismutase - SOD ( $\text{U g}^{-1}$  MF) (A, polpa branca) (B, polpa laranja), Atividade de catalase - CAT ( $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1}$  MF) (C, polpa branca) (D, polpa de laranja) e atividade da ascorbato peroxidase - APX ( $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1}$  MF) (E, polpa branca) (F, polpa de laranja) em raízes de batata-doce de polpa branca e polpa de laranja tratadas com diferentes concentrações de melatonina (0, 10, 100 e 1000  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ), minimamente processadas e armazenadas por 20 dias a  $5 \pm 2$  °C e  $90 \pm 5\%$  UR. As barras representam o desvio padrão da média. Letras maiúsculas comparam as diferentes concentrações de melatonina e letras minúsculas comparam os dias de armazenamento.

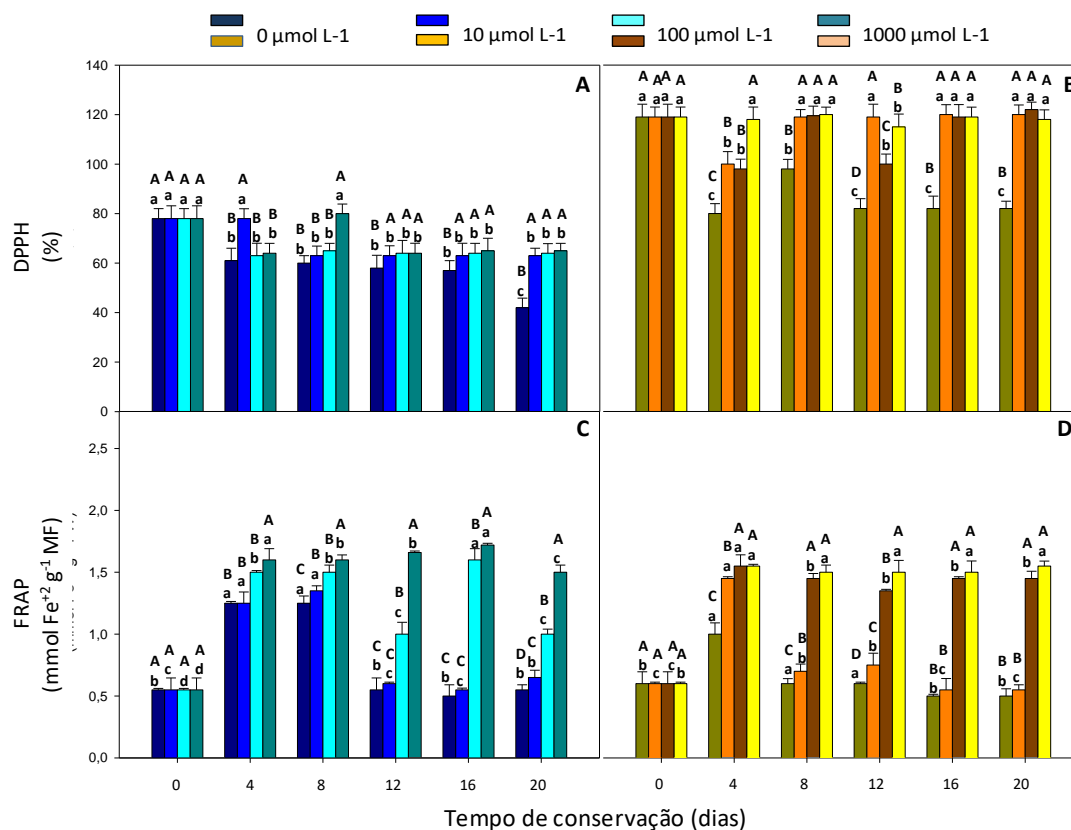


**Figura 6.** Atividade de fenilalanina amônia liase - PAL ( $\mu\text{mol min}^{-1} \text{g}^{-1} \text{MF}$ ) (A, polpa branca) (B, polpa laranja), Atividade de polifenoloxidase - PPO ( $\mu\text{mol catecol min}^{-1} \text{g}^{-1} \text{MF}$ ) (C, polpa branca) (D, polpa de laranja) e atividade de peroxidase - POD ( $\mu\text{mol guaiacol min}^{-1} \text{g}^{-1} \text{MF}$ ) (E, polpa branca) (F, polpa de laranja) em raízes de batata-doce de polpa branca e polpa de laranja tratadas com diferentes concentrações de melatonina (0, 10, 100 e 1000  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ), minimamente processadas e armazenadas por 20 dias a  $5 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $90 \pm 5\% \text{ UR}$ . As barras representam o desvio padrão da média. Letras maiúsculas comparam as diferentes concentrações de melatonina e letras minúsculas comparam os dias de armazenamento.

### 3.4 Extração e Teste *In Vitro* de Atividade Antioxidante (DPPH e FRAP)

A capacidade antioxidante medida pelos métodos DPPH e FRAP foi significativamente maior do início (4 dias) ao final do experimento para os pedaços tratados com 100 e 1000  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de melatonina, independente da cor da polpa (Figura

7). Por outro lado, os valores das rodelas do controle foram sempre significativamente inferiores (Figura 7).

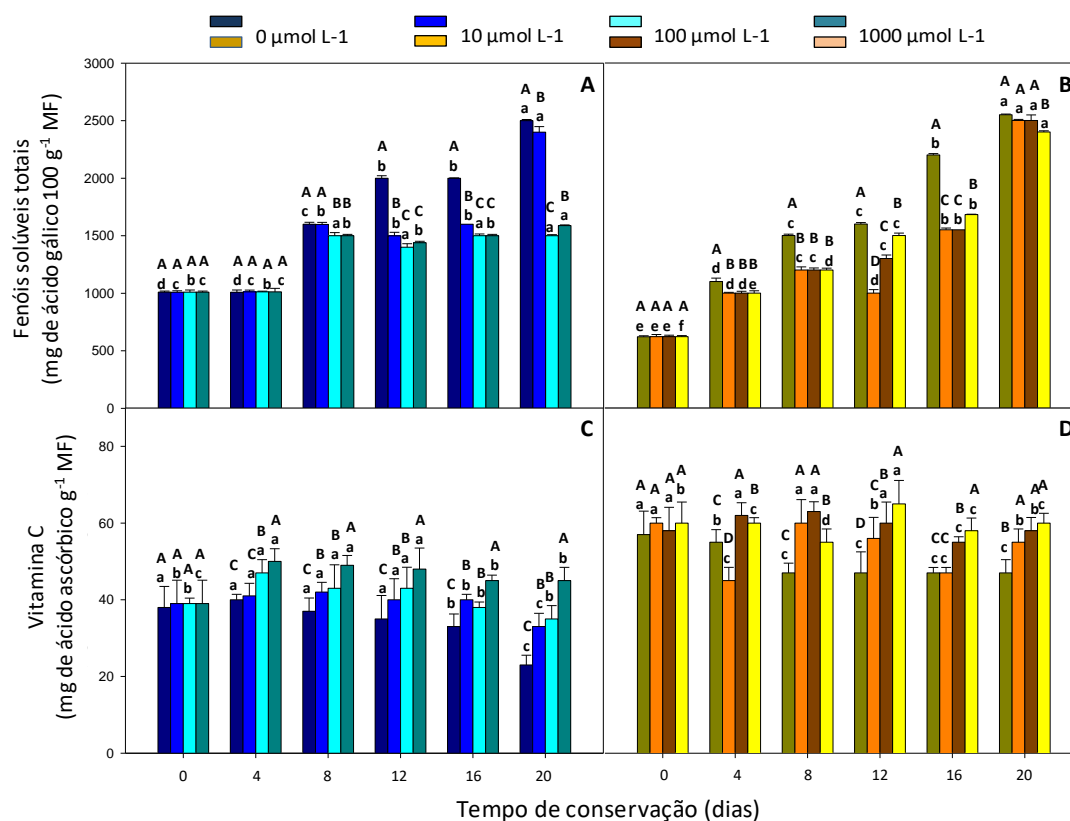


**Figura 7.** Eliminação de DPPH (%) (A, polpa branca) (B, polpa laranja) e FRAP (mmol Fe<sup>2+</sup> g<sup>-1</sup> MF) (C, polpa branca) (D, polpa laranja) em raízes de batata-branca e polpa alaranjada tratada com diferentes concentrações de melatonina (0, 10, 100 e 1000 µmol L<sup>-1</sup>), minimamente processadas e armazenadas por 20 dias a 5 ± 2 °C e 90 ± 5% UR. As barras representam o desvio padrão da média. Letras maiúsculas comparam as diferentes concentrações de melatonina e letras minúsculas comparam os dias de armazenamento.

### 3.5 Compostos fenólicos solúveis totais e vitamina C

O teor de compostos fenólicos solúveis totais aumentou durante o armazenamento (Figura 8). Além disso, nas rodelas do controle independentes de cor, esses incrementos foram mais significativos (Figuras 8A e B). Curiosamente, os pedaços de batata-doce laranja também tratados com melatonina aos 20 dias apresentaram intenso aumento nos compostos fenólicos solúveis totais (Figura 8B). O

teor de vitamina C manteve-se mais estável nos pedaços de batata doce branca e laranja tratados com 100 e 1000  $\mu\text{mol L}^{-1}$ , durante todo o armazenamento refrigerado (Figuras 8C e D). Por outro lado, nas peças controle, a queda dessa vitamina ficou mais evidente durante a conservação (Figuras 8C e D).

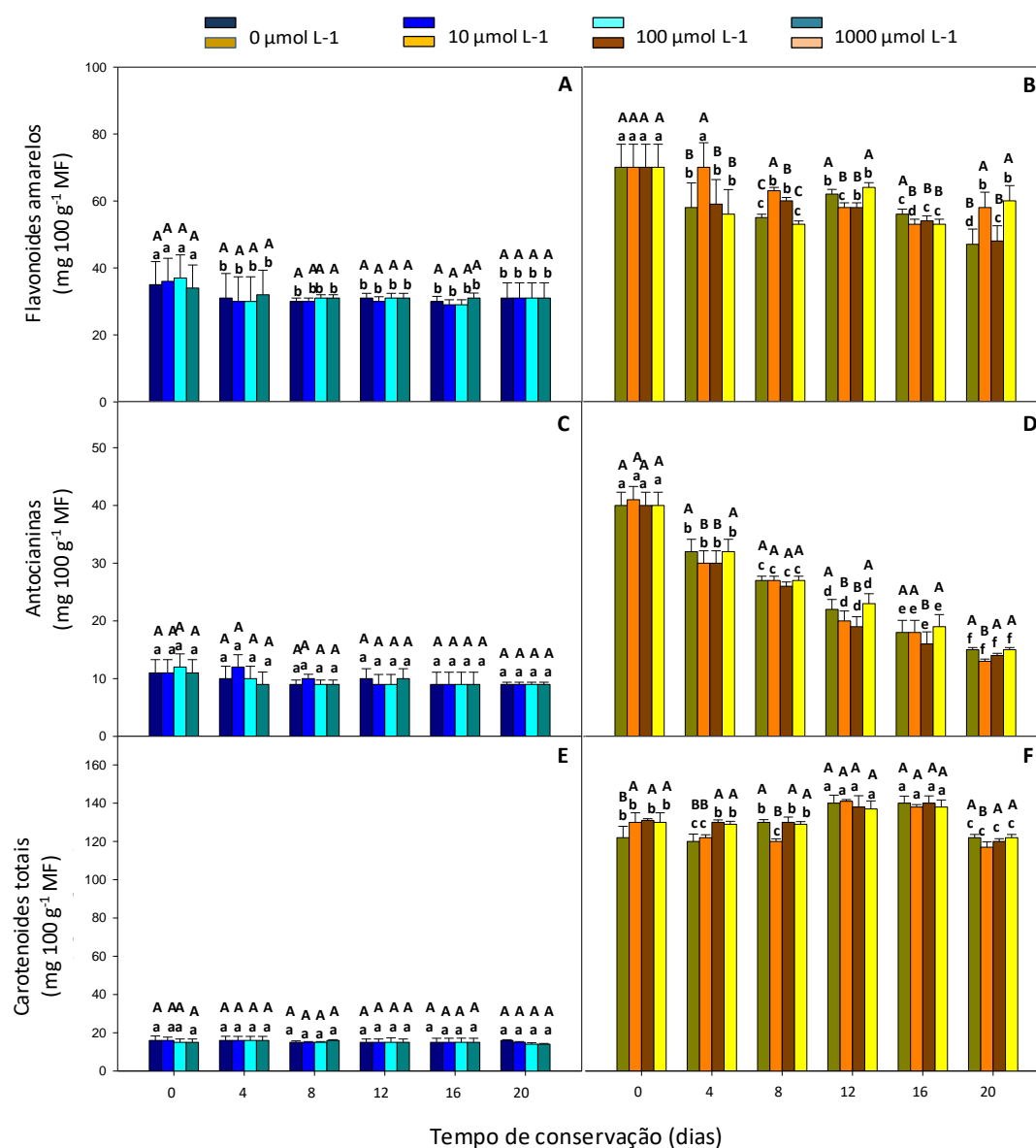


**Figura 8.** Fenóis solúveis totais (mg de ácido gálico 100 g<sup>-1</sup> MF) (A, polpa branca) (B, polpa de laranja) e teor de vitamina C (mg de ácido ascórbico g<sup>-1</sup> MF) (C, polpa branca) (D, polpa de laranja) em raízes de batata-doce de polpa branca e de polpa alaranjada tratadas com diferentes concentrações de melatonina (0, 10, 100 e 1000  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ), minimamente processadas e armazenadas por 20 dias a  $5 \pm 2$  °C e  $90 \pm 5\%$  UR. As barras representam o desvio padrão da média. Letras maiúsculas comparam as diferentes concentrações de melatonina e letras minúsculas comparam os dias de armazenamento.

### 3.6 Flavonóides amarelos, antocianinas e carotenóides totais

Não houve interação significativa para os níveis de flavonóides amarelos e antocianinas ( $p > 0,05$ ) para batata-doce de polpa branca, não sendo influenciada nem pelos níveis de melatonina aplicados nem pelo número de dias de armazenamento (Figuras 9A, B, C e D). Os carotenóides totais nos pedaços de batata-doce laranja permaneceram estáveis durante o armazenamento refrigerado, independentemente da aplicação de melatonina (Figura 9F).

Observou-se que as fatias de batata-doce de polpa alaranjada tinham níveis significativamente mais elevados de flavonóides amarelos, antocianinas e carotenóides em comparação com as fatias de batata-doce brancas (Figura 9), como pode ser visto pelo tom de pigmentação nestas duas batatas-doces na Figura 2. Durante o armazenamento refrigerado os níveis de flavonóides amarelos e antocianinas caíram nas fatias de batata-doce laranja (Figuras 9B e D). No caso dos flavonóides amarelos, porém, a queda foi menos intensa para os pedaços de batata-doce laranja tratados com 1000  $\mu\text{mol L}^{-1}$  (Figura 9B).



**Figura 9.** Flavonóides amarelos ( $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ ) (A, polpa branca) (B, polpa laranja), antocianinas ( $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ ) (C, polpa branca) (D, polpa laranja) e carotenóides totais ( $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ ) (E, polpa branca) (F, polpa laranja) em raízes de batata-doce de polpa branca e polpa alaranjada tratadas com diferentes concentrações de melatonina (0, 10,

100 e 1000  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ), minimamente processada e armazenada por 20 dias a  $5 \pm 2$  °C e  $90 \pm 5\%$  UR. As barras representam o desvio padrão da média. As letras representam diferenças significativas segundo o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam as diferentes concentrações de melatonina e letras minúsculas comparam os dias de armazenamento.

#### 4. DISCUSSÃO

O presente trabalho investigou o efeito da aplicação de melatonina exógena sobre danos, proteção oxidativa, reações oxidativas que resultaram em escurecimento e acúmulo de antioxidantes importantes para a qualidade de raízes de batata-doce de polpa branca e laranja minimamente processadas. Acredita-se que a melatonina possa inibir o escurecimento devido à sua capacidade de aliviar o dano oxidativo às membranas e através da inibição da oxidação enzimática em batata doce minimamente processada de polpa alaranjada, como sugerido por Li et al. (2022). No entanto, na batata-doce de polpa branca, que é mais suscetível ao escurecimento enzimático após ser fatiada, a melatonina pode ter um efeito mais poderoso no alívio do estresse oxidativo e, conseqüentemente, no escurecimento.

Segundo modelos propostos por Saltveit (1997) e Jacobo-Velazquez et al. (2011), as espécies reativas de oxigênio (EROS) atuam como moléculas sinalizadoras secundárias em resposta à lesão. No presente estudo, fatias de batata-doce, branca ou laranja minimamente processadas (controles) apresentaram superprodução de peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), acentuada peroxidação lipídica, medida pelos níveis de ácido tiobarbitúrico (TBARs) (Figuras 4A, B, C e D), bem como, em alguns momentos da conservação, aumentos importantes na medida de vazamento de eletrólitos, indicativos de danos à membrana (Figuras 4E e F). Essa explosão oxidativa sugere a participação de um mecanismo de sinalização pós-lesão, conforme proposto por Saltveit (1997) e detalhado por Jacobo-Velázquez et al. (2011). Contudo, a melatonina teve um efeito crucial no alívio desta explosão oxidativa, durante todo o período de conservação, principalmente nas doses mais elevadas, 100 e 1000  $\mu\text{mol L}^{-1}$  (Figura 4). Esse fato já foi demonstrado em pêssegos (GAO et al., 2016), lichia (ZHANG et al., 2018), sementes de lótus (LUO et al., 2020), pimentão verde (KONG et al., 2020) e maçãs (CHEN et al., 2020). Danos na membrana levam à descompartimentação celular, o que leva ao contato entre enzimas relacionadas ao escurecimento e substratos fenólicos, resultando no

escurecimento enzimático das culturas pós-colheita (TOMAS-BARBERÁN e ESPÍN, 2001). As enzimas relacionadas ao escurecimento incluem principalmente PAL, PPO e POD. PAL é a enzima chave na biossíntese do fenol e sua atividade pode ser utilizada como índice do potencial de escurecimento enzimático (CHENG et al., 2011). A PPO é uma oxidase que causa escurecimento na batata-doce (DOVENE et al., 2019; LIU et al., 2021). O POD pode eliminar EROS para resistir ao estresse e combinar-se com fenóis para promover o escurecimento (ZHENG et al., 2012). Notou-se que esse alívio no dano oxidativo, que ocorreu principalmente nas fatias de batata doce (branca ou laranja) tratadas com 100 e 1000  $\mu\text{mol L}^{-1}$  (Figura 3), foi resultado de aumentos nas atividades das enzimas SOD, CAT e APX (Figura 5), que tradicionalmente desempenham a função de varrer EROS do sistema celular e evitar efeitos tóxicos (LI et al., 2022). A melatonina atua aumentando a atividade das enzimas antioxidantes, minimizando a explosão oxidativa nos tecidos cortados da batata-doce. Li et al. (2022) demonstraram que a melatonina é capaz de regular a expressão gênica de enzimas antioxidantes, como SOD, APX e LOX. Além disso, há evidências de que a melatonina induz a atividade das enzimas em maçãs (WANG et al., 2012), pêssegos (GAO et al., 2016), mandioca (MA et al., 2016), lichia (ZHAI et al., 2016), maçãs (ZHANG et al., 2018) e pêras (CHEN et al., 2020). A atividade do PAL na batata doce minimamente processada aumentou rapidamente a partir do quarto dia (Figuras 6A e B). No entanto, a atividade PAL nas fatias tratadas com melatonina foi menor do que nas fatias de controle para raízes de polpa branca e de polpa laranja (Figuras 6A e B). Além disso, a atividade de PPO e POD da batata doce minimamente processada em fatias controle aumentou continuamente (Figuras 6C, D, E e F). Assim, observou-se que o tratamento com melatonina diminui a atividade do PAL, precursora da síntese de compostos fenólicos, e da PPO, responsável pela oxidação desses compostos, explicando, em parte, o atraso no escurecimento das fatias de batata-doce, como pode ser visto na Figura 3.

Adicionalmente, observou-se que houve aumento no acúmulo de compostos fenólicos nas fatias controle de batata doce branca ou laranja, em relação àquelas tratadas com melatonina (Figuras 8A e B). Isto sugere que a melatonina também pode aliviar a superacumulação de compostos fenólicos mediada por EROS, como já se sabe (JACOBO-VELÁZQUEZ et al., 2011). No entanto, esta resposta pode não ser de interesse. Alternativamente, se o objetivo for controlar a superprodução de compostos fenólicos de um vegetal, o uso moderado de melatonina pode ser benéfico, especialmente para vegetais com suscetibilidade mínima ao escurecimento após serem

cortados, como cenouras e brócolis, entre outros. Entretanto, a aplicação de melatonina após o fatiamento (processamento mínimo) poderia ser uma alternativa viável. No presente trabalho, surpreendentemente nas fatias de batata branca, mais suscetíveis ao escurecimento, a melatonina teve forte ação anti-escurecimento (Figura 3). Esta resposta é parcialmente explicada por uma intensa redução na atividade da PPO em tecidos tratados com melatonina (Figuras 6C e D). Além disso, houve redução significativa na atividade da enzima POD em todos os casos, ao longo do período de conservação, em comparação às fatias controle (Figuras 6E e F). Surpreendentemente, nas fatias de batata laranja, onde é difícil visualizar o escurecimento devido à pigmentação do tecido (SIMÕES et al., 2020), a região correspondente ao câmbio vascular apresentou um escurecimento, nas fatias tratadas com melatonina, em 20 dias (Figura 3). Isto pode ser parcialmente explicado pelo acúmulo de compostos fenólicos e atividade da PPO em fatias tratadas com dose máxima de melatonina ( $1000 \mu\text{mol L}^{-1}$ ); o controle foi estatisticamente semelhante (Figuras 6C e D). Por outro lado, ao longo do período de conservação, as enzimas envolvidas na síntese e oxidação de compostos fenólicos também apresentaram menor atividade nas rodela de batata-doce de laranja tratadas com melatonina (Figura 6). Diante desses fatos, verifica-se que nas rodela de batata branca a aplicação de melatonina foi uma forte aliada no alívio dos sintomas de escurecimento. Isso é diferente para as rodela de batata laranja, embora o escurecimento também tenha sido reduzido, no entanto, apresentou sintomas de escurecimento na região cambial, mesmo quando tratada com melatonina. O escurecimento das fatias de batata-doce laranja aumentou com o armazenamento prolongado, sendo o escurecimento do tecido do câmbio vascular o mais grave, seguido pelo tecido do córtex e tecido do parênquima central (Figura 3). Isto está de acordo com o achado de Wang et al. (2018) em batata-doce minimamente processada. Esta descoberta indicou que a distribuição do escurecimento da raiz tuberosa da batata-doce era específica do tecido e não uniforme, embora os compostos fenólicos e as enzimas também tenham sido reduzidos em comparação com o controle. Uma explicação plausível para esse comportamento metabólico da batata de polpa alaranjada é o fato de a amostragem para realização das análises ter sido retirada da região periférica que antecede a região do câmbio vascular, que apresentou escurecimento acentuado. Isto pode ter contribuído para uma resposta fisiológica semelhante à da batata-doce branca, que não escureceu. Os fenóis e a atividade da PPO e POD são o principal fatores causadores do escurecimento, que promove descoloração e perda de valor comercial.



Os antioxidantes não enzimáticos também desempenham um papel indispensável na defesa contra o dano oxidativo celular induzido por EROS. O sistema de defesa não enzimático inclui principalmente compostos antioxidantes de origem dietética, entre os quais se destacam: vitaminas, minerais e compostos fenólicos. O ácido ascórbico (vitamina C),  $\alpha$ -tocoferol e  $\beta$ -caroteno, antocianinas, flavonóides, precursores das vitaminas E e A, respectivamente, são compostos vitamínicos potencialmente antioxidantes. Outros carotenóides sem atividade de vitamina A, como o licopeno, a luteína e a zeaxantina, também são defensores dos oxidantes (BIANCHI e ANTUNES, 1999; PRASAD et al., 2007). Os carotenóides desempenham um papel na proteção das plantas contra processos fotooxidativos. Eles são antioxidantes eficientes, por exemplo, na eliminação de oxigênio molecular singlete (DI MASCIO, KAISER, & SIES, 1989) e radicais peroxil (STAHL & SIES, 2003). No presente trabalho, a aplicação de melatonina não influenciou o teor de carotenóides, antocianinas e flavonóides amarelos nas fatias de batata-doce, sendo influenciada apenas pelo período de armazenamento (Figura 9), que, ao longo do tempo, promoveu uma queda significativa nos carotenóides totais, antocianinas e flavonóides amarelos. A vitamina C, como antioxidante natural não enzimático, pode eliminar diretamente as EROS, bloquear efetivamente o processo de peroxidação lipídica e reduzir o dano oxidativo (LIU et al., 2015). Huang et al. (2006) relataram que o fatiamento de frutas e vegetais levou à perda de vitamina C. No presente estudo, os níveis de vitamina C nas fatias controle diminuíram desde o início da conservação, possivelmente devido aos graves danos mecânicos causados pelo corte da batata-doce (Figuras 8C e D). As fatias tratadas com melatonina não diminuíram tanto o teor de vitamina C quanto as fatias de controle no estágio inicial de armazenamento (Figuras 8C e D), indicando que antioxidantes não enzimáticos podem estar envolvidos no retardo do escurecimento mediado pela melatonina. A capacidade antioxidante também foi medida pelos métodos DPPH e FRAP, que mostram que a aplicação de melatonina apresentou maior atividade antioxidante durante a conservação, quando comparada ao tratamento controle (Figura 7). Porém, os níveis de carotenóides totais, antocianinas e flavonóides amarelos não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos com melatonina e o controle e diminuíram durante a conservação para todos os tratamentos (Figura 9).

Em resumo, a imersão da batata-doce minimamente processada em melatonina a  $1000 \mu\text{mol L}^{-1}$  atrasou efetivamente o escurecimento pós-colheita e preservou a qualidade sensorial da cor na batata-doce de polpa branca e laranja

minimamente processada, embora a batata-doce de polpa alaranjada tenha mostrado escurecimento na região cambial. A inibição do escurecimento pela melatonina pode estar associada à sua capacidade de amenizar danos oxidativos às membranas, com a participação de protetores enzimáticos e não enzimáticos. O presente trabalho mostrou que durante o armazenamento, o escurecimento da batata-doce estava intimamente relacionado ao acúmulo de EROS e danos à membrana celular. A melatonina retardou o escurecimento da batata-doce minimamente processada principalmente por reduzir o acúmulo de substâncias fenólicas no substrato escurecido por inibir a atividade de PAL, PPO e POD, a melatonina exógena também melhorou o processo antioxidante, aumentando as atividades das enzimas antioxidantes SOD, CAT e APX e promoveu o acúmulo de antioxidantes não enzimáticos, como a vitamina C, que removeu o excesso de EROS e manteve a homeostase redox celular.

## 5. CONCLUSÕES

O presente estudo mostrou que a aplicação de doses crescentes de melatonina durante a conservação de fatias de batata doce, branca e laranja minimizou os sintomas de escurecimento, intimamente relacionados com menores acúmulos de  $H_2O_2$ , substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARs) e extravasamento de eletrólitos, resultando em menos danos às membranas celulares. Essas respostas foram decorrentes de maior proteção enzimática mediada por SOD, CAT e APX, além de metabólitos antioxidantes que indicaram proteção não enzimática como Vitamina C e medidas de capacidade antioxidante pelos métodos DPPH e FRAP, maximizadas/estabilizadas pela aplicação de melatonina. Associado a isso, nas fatias de batata-doce tratadas com as maiores doses de melatonina, os tecidos apresentaram menor atividade de PAL, resultando em menor acúmulo de compostos fenólicos. Além disso, menores atividades de PPO e POD contribuíram para maior homeostase redox celular durante a conservação, razão pela qual as alterações no escurecimento foram menores. Assim, com base nos dados obtidos, é possível concluir que a dose de melatonina de  $1000 \mu\text{mol L}^{-1}$  pode ser um forte aliado a minimizar o escurecimento enzimático dos tecidos após o fatiamento e processamento da batata-doce, é facilmente aplicado, via imersão, durante o fluxo de processamento mínimo, oferecendo assim uma tecnologia viável para a indústria de processamento mínimo.

## REFERÊNCIAS

- AGHDAM, M.S., FARD, J.R. Melatonin treatment attenuates postharvest decay and maintains nutritional quality of strawberry fruit (*Fragaria×anannasa* cv. Selva) by enhancing GABA shunt activity. **Food Chemistry**. 221, 1650–1657, 2017.
- ARNAO, M.B., HERNÁNDEZ-RUIZ, J. Functions of melatonin in plants: a review. **Jounarl of Pineal Research**. 59, 133–150, 2015.
- BIANCHI MLP, ANTUNES LMG. Radicais livres e os principais antioxidantes da dieta. **Revista de Nutrição**. 12(12):123-30, 1999.
- BENZIE, I. F. F.; STRAIN, J. J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: The FRAP assay. **Analytical Biochemistry**. 239 (1), 70–76, 1996.
- BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. L. W. T. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT–Food Science and Technology**. 28 (1), 25–30, 1995.
- BONMATI-CARRION, M.A., ARGUELLES-PRIETO, R., MARTINEZ-MADRID, M.J., REITER, R., HARDELAND, R., ROL, M.A., MADRID, J.A. Protecting the melatonin rhythm through circadian healthy light exposure. **International Journal of Molecular Science**. 15, 23448–23500, 2014.
- CARRILLO-VICO, A., LARDONE, P.J., ALVAREZ-SANCHEZ, N., RODRIGUEZ-RODRIGUEZ, A., GUERRERO, J.M. Melatonin: buffering the immune system. **International Journal of Molecular Science**. 14, 8638–8683, 2013.
- CAO, S., SONG, C., SHAO, J., BIAN, K., CHEN, W., YANG, Z. Exogenous melatonin treatment increases chilling tolerance and induces defense response in harvested peach fruit during cold storage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 64, 5215–5222, 2016.
- CAO, S., SHAO, J., SHI, L., XU, L., SHEN, Z., CHEN, W., YANG, Z. Melatonin increases chilling tolerance in postharvest peach fruit by alleviating oxidative damage. **Scientific Reports**. 8, 806, 2018.
- CHEN, Y., ZHANG, Y., NAWAZ, G., ZHAO, C., LI, Y., DONG, T., ZHU, M., LI, Z. Exogenous melatonin attenuates postharvest decay by increasing antioxidant activity in wax apple (*Syzygium samarangense*). **Frontiers in Plant Science**. 11, 569779, 2020.

CHENG, S., HU, W., MA, Y., LIU, C. Study on the control of enzymatic browning in fresh-cut sweetpotatoes. **Science and Technology of Food Industry**. 32, 157–158, 2011.

DOVENE, A.K., WANG, L., BOKHARY, S.U.F., MADEBO, M.P., ZHENG, Y.H., JIN, P. Effect of cutting styles on quality and antioxidant activity of stored fresh-cut sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) cultivars. **Foods**. 8 (12), 674, 2019.

ERLAND, L.A.E., MURCH, S.J., REITER, R.J., SAXENA, P.K. A new balancing act: the many roles of melatonin and serotonin in plant growth and development. **Plant Signaling Behavior**. 2015, 10

FRANCIS, F. J. Analysis of anthocyanins. In P. Markakis (Ed.), *Anthocyanins as Food Colors* (pp. 263). London, UK: **Academic Press**. 1982.

FREIRE, C. S.; SIMOES, A. N.; VIEIRA, M. R. S.; BARROS-JÚNIOR, A. P.; COSTA, F. B. Qualidade de raízes de mandioca de mesa minimamente processada nos formatos minitolete e rubiene. **Revista Caatinga**, Mossoró - RN, 27, 4, 2014.

GAO, H., ZHANG, Z., CHAI, H., CHENG, N., YANG, Y., WANG, D., YANG, T., CAO, W. Melatonin treatment delays postharvest senescence and regulates reactive oxygen species metabolism in peach fruit. **Postharvest Biology and Technology**. 118, 103–110, 2016.

GARCIA, J., LOPEZ-PINGARRON, L., ALMEIDA-SOUZA, P., TRES, A., ESCUDERO, P., GARCIA-GIL, F. A., TAN, D.X., REITER, R.J., RAMIREZ, J.M., BERNAL-PEREZ, M. Protective effects of melatonin in reducing oxidative stress and in preserving the fluidity of biological membranes: a review. **Journal of Pineal Research**. 56, 225–237, 2015.

GAO, H., ZHANG, Z., CHAI, H., CHENG, N., YANG, Y., WANG, D., YANG, T., CAO, W. Melatonin treatment delays postharvest senescence and regulates reactive oxygen species metabolism in peach fruit. **Postharvest Biology and Technology**. 118, 103–110, 2016.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. **Plant physiology**, 59, 309-314, 1977.

GONZÁLEZ-AGUILAR, G.A., AYALA-ZAVALA, J.F., OLIVAS, G.I., DELA-ROSA, L.A., ÁLVAREZ- PARRILLA, E. Preserving quality of fresh-cut products using safe technologies. **Journal fur Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit**. 5, 65–72, 2010.

- HEATH, R. L.; PACKER, L. Photoperoxidation in Isolated Chloroplasts: I. Kinetics and Stoichiometry of Fatty Acid Peroxidation. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, 125, 189-198, 1968.
- HUANG, Y., CHANG, Y., SHAO, Y. Effects of genotype and treatment on the antioxidant activity of sweet potato in Taiwan. **Food Chemistry**. 98, 529–538, 2006.
- HAVIR, E. A.; MCHALE, N. A. Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalase in tobacco leaves. **Plant Physiology**, 84, 450-455, 1987.
- HU, W., KONG, H., GUO, Y., ZHANG, Y., DING, Z., TIE, W., YAN, Y., HUANG, Q., PENG, M., SHI, H., GUO, A. Comparative physiological and transcriptomic analyses reveal the actions of melatonin in the delay of postharvest physiological deterioration of Cassava. **Frontiers in Plant Science**. 7, 736, 2016.
- JACOBO-VELÁZQUEZ, D. A.; MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, G. B.; RODRÍGUEZ, S. C.; CAO, C. M.; CISNEROS-ZEVALLOS, L. Plants as biofactories: physiological role of reactive oxygen species on the accumulation of phenolic antioxidants in carrot tissue under wounding and hyperoxia stress. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 59, n. 12, p. 6583-6593, 2011.
- JAN, J.E., REITER, R.J., WASDELL, M.B., BAX, M. The role of the thalamus in sleep, pineal melatonin production, and circadian rhythm sleep disorders. **Journal of Pineal Research**. 46, 1–7, 2009.
- KASNAK, C.; PALAMUTOGLU, R. Effect of Yogurt Serum on Enzymatic and Oxidative Activity in Fresh-Cut Potatoes. **Food Science & Technology**. 1, 1842-1848, 2021.
- KE, D.; SALTVEIT, M. E. Spotting and phenylalanine ammonia-lyase activity in iceberg lettuce. **HortScience**, 21, 1986.
- KONG, X., GE, W., WEI, B., ZHOU, Q., ZHOU, X., ZHAO, Y., JI, S. Melatonin ameliorates chilling injury in green bell peppers during storage by regulating membrane lipid metabolism and antioxidant capacity. **Postharvest Biology and Technology**. 170, 111315, 2020.
- LI, X., LONG, Q., GAO, F., HAN, C., JIN, P., ZHENG, Y. Effect of cutting styles on quality and antioxidant activity in fresh-cut pitaya fruit. **Postharvest Biol. Technol.** 124, 1–7, 2017.

LI, Y.; ZHANG, L.; ZHANG, L.; NAWAZ, G.; ZHAO, C.; ZHANG, J.; GAO, Q.; DONG, T.; XU, T. Exogenous melatonin alleviates browning of fresh-cut sweetpotato by enhancing anti-oxidative process. **Scientia Horticulturae**. 297, 110937, 2022.

LIU, R., YU, Z., SUN, Y., ZHOU, S. The enzymatic browning reaction inhibition effect of strong acidic electrolyzed water on different parts of sweet potato slices. **Food Bioscience**. 43, 101252, 2021.

LIU, C., ZHENG, H., SHENG, K., LIU, W., ZHENG, L. Effects of melatonin treatment on the postharvest quality of strawberry fruit. **Postharvest Biology and Technology**. 139, 47–55, 2018.

LUO, S., HU, H., WANG, Y., ZHOU, H., ZHANG, Y., ZHANG, L., LI, P. The role of melatonin in alleviating the postharvest browning of lotus seeds through energy metabolism and membrane lipid metabolism. **Postharvest Biology and Technology**. 167, 111243, 2020.

MA, Q., ZHANG, T., ZHANG, P., WANG, Z. Melatonin attenuates postharvest physiological deterioration of cassava storage roots. **Journal of Pineal Research**. 60, 424–434, 2016.

MAURIZ, J.L., COLLADO, P.S., VENEROSO, C., REITER, R.J., GONZALEZ-GALLEGO, J. A review of the molecular aspects of melatonin's anti-inflammatory actions: recent insights and new perspectives. **Journal of Pineal Research**. 54, 1–14, 2013.

MENG, J., XU, T., SONG, C., YU, Y., HU, F., ZHANG, L., ZHANG, Z., XI, Z. Melatonin treatment of pre-veraison grape berries to increase size and synchronicity of berries and modify wine aroma components. **Food Chemistry**. 185, 127–134, 2015.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant and cell physiology**, 22, 867-880, 1981.

PRASAD, A. S, BECK, F. W. J., B. A. O. B, FITZGERALD, J. T., SNELL, D. C., STEINBERG, J. D., CARDOZO, L. J. Zinc supplementation decreases incidence of infections in the elderly: effect of zinc on generation of cytokines and oxidative stress. **The American Journal of Clinical Nutrition**. 85(3): 837-44, 2007.

REITER, R.J., TAN, D., FUENTES-BROTO, L. Melatonin: a multitasking molecule. **Progress in Brain Research**. 181, 127–151, 2010.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. A guide to carotenoid analysis in foods. Washington: **Internacional Life Sciences Institute Press**, 2001. 64 p

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M. Handbook for carotenoid analysis. Washington: **HarvestPlus**, 2004. 58 p. (HarvestPlus Technical Monograph, 2).78

SÁNCHEZ-RANGEL, J. C.; BENAVIDES, J.; HEREDIA, J. B.; CISNEROS-ZEVALLOS, L.; JACOBO-VELÁZQUEZ, D. A. The Folin–Ciocalteu assay revisited: improvement of its specificity for total phenolic content determination. **Analytical Methods**, 5(21), 5990, 2013.

SALTVEIT, M.E. Physical and physiological changes in minimally processed fruits and vegetables. In: *Phytochemistry of Fruit and Vegetables*. Tomas-Barberan, F.A. and Robins, R.J. (eds.). **Oxford University Press Inc.**, New York, pp. 205–220, 1997.

SIMÕES, A. N.; ALMEIDA, S. L.; BORGES, C. V.; FONSECA, K. S.; BARROS-JÚNIOR, A. P.; ALBUQUERQUE, J. R. T.; CORREA, C.; MINATEL, I. O.; MORAIS, M. A. S.; DIAMANTE, M.; LIMA, G. P. P. Delaying the harvest induces bioactive compounds and maintains the quality of sweet potatoes. **Journal of Food Biochemistry**. v. 44, p. 1-13, 2020.

SILVA, V. N. S.; FONSECA, K. S.; ALBUQUERQUE, J. R. T.; SOUZA, J. F. N.; BARROS-JÚNIOR, A. P.; SIMÕES, A. N. Harvest time as a modulator of phytochemicals in sweet potato cultivars for the industry. **Revista Caatinga**. v. 35, p. 956-963, 2022.

SIMÕES, A. N.; MOREIRA, S. I.; MOSQUIM, P. R.; SOARES, N. F. F.; PUSCHMANN, R. Effect of conservation temperature on quality and phenolic metabolism of intact and minimally processed kale leaf. **Acta Scientiarum**, 2015, v. 37, n. 1, p. 101-107, 2015.

REITER, R.J., TAN, D., GALANO, A. Melatonin: exceeding expectations. **Physiology**. 29, 325–333, 2014.

SUN, H., MEI, J., ZHAO, W., HOU, W., ZHANG, Y., XU, T., WU, S., ZHANG, L. Phylogenetic analysis of the SQUAMOSA promoter-binding protein-like genes in four Ipomoea species and expression profiling of the IbSPLs during storage root development in sweet potato (Ipomoea batatas). **Frontiers in Plant Science**, 12, 801061, 2022.

TOMÁS-BARBERÁN, F.A., ESPÍN, J.C. Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruit and vegetables. **Journal of the Science of Food Agriculture**. 81, 853–876, 2001.

XIA, H., SHEN, Y., SHEN, T., WANG, X., ZHANG, X., HU, P., LIANG, D., LIN, L., DENG, H., WANG, J., DENG, Q., LV, X. Melatonin accumulation in sweet cherry and its influence on fruit quality and antioxidant properties. **Molecules**. 25, 753, 2020.

WANG, P., YIN, L., LIANG, D., LI, C., MA, F., YUE, Z. Delayed senescence of apple leaves by exogenous melatonin treatment: toward regulating the ascorbate- glutathione cycle. **Journal of Pineal Research**. 53, 11–20, 2012.

WANG, L.Q., LIU, S., YANG, C., ZHANG, X., YAO, S., DENG, L., ZENG, K. Mechanism of browning in different parts of fresh-cut sweetpotato. **Food Science**. 39, 285–290, 2018.

XU, T., CHEN, Y., KANG, H. Melatonin is a potential target for improving postharvest preservation of fruit and vegetables. **Frontiers in Plant Science**. 10, 1388, 2019.

YANG, Z., SUN, J., CHEN, Y., ZHU, P., ZHANG, L., WU, S., MA, D., CAO, Q., LI, Z., XU, T. Genome-wide identification, structural and gene expression analysis of the bZIP transcription factor family in sweetpotato wild relative *Ipomoea trifida*. **BMC Genetics**. 20, 41, 2019.

ZHANG, H., LIU, X., CHEN, T., JI, Y., SHI, K., WANG, L., ZHENG, X., KONG, J. Melatonin in apples and juice: inhibition of browning and microorganism growth in apple juice. **Molecules**. 23, 521, 2018.

ZHENG, Y., HU, W., JIANG, A., YANG, B. Research of methyl jasmonate on the wounding defense response for fresh-cut sweetpotatoes. **Science in Technology Food Ind**. 33, 368–372, 2012.

ZHAI, R., LIU, J., LIU, F., ZHAO, Y., LIU, L., FANG, C., WANG, H., LI, X., WANG, Z., MA, F., XU, L. Melatonin limited ethylene production, softening and reduced physiology disorder in pear (*Pyrus communis* L.) fruit during senescence. **Postharvest Biology and Technology**. 139, 38–46, 2018.

ZHU, P., DONG, T., XU, T., KANG, H. Identification, characterisation and expression analysis of MADS-box genes in sweetpotato wild relative *Ipomoea trifida*. **Acta Physiologiae Plantarum**. 42, 163, 2020.

ZHANG, Y., HUBER, D.J., HU, M., JIANG, G., GAO, Z., XU, X., JIANG, Y., ZHANG, Z. Delay of postharvest browning in litchi fruit by melatonin via the enhancing of antioxidative processes and oxidation repair. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 66, 7475–7484, 2018.

ZHANG, N., SUN, Q., LI, H., LI, X., CAO, Y., ZHANG, H., LI, S., ZHANG, L., QI, Y., REN, S., ZHAO, B., GUO, Y. Melatonin improved anthocyanin accumulation by



regulating gene expressions and resulted in high reactive oxygen species scavenging capacity in cabbage. **Frontiers in Plant Science**. 7, 197, 2016.