

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA-UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

CRISTHIAN LEONARDO FENILI

**NOVAS CULTIVARES DE MAÇÃS COM POTENCIAL PARA USO COMO
ALIMENTO MINIMAMENTE PROCESSADO**

LAGES

2022

CRISTHIAN LEONARDO FENILI

**NOVAS CULTIVARES DE MAÇÃS COM POTENCIAL PARA USO COMO
ALIMENTO MINIMAMENTE PROCESSADO**

Tese apresentada ao Curso de Pós-graduação em Produção Vegetal, na Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Produção Vegetal.
Orientador: Dr. Cristiano André Steffens
Coorientadora: Dra. Mariuccia Schlichting De Martin

LAGES

2022

Ficha catalografica

CRISTHIAN LEONARDO FENILI

**NOVAS CULTIVARES DE MAÇÃS COM POTENCIAL PARA USO COMO
ALIMENTO MINIMAMENTE PROCESSADO**

Tese apresentada ao Curso de Pós-graduação em Produção Vegetal, na Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Produção Vegetal.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: _____
Professor Dr. Cristiano André Steffens
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Coorientadora: _____
Dra. Mariuccia Schlichting De Martin
Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

Membros: _____
Dr. Marcelo Alves Moreira
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Dra. Aike Anneliese Kretzschmar
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Dra. Aquidauana Miqueloto Zanardi
IFSC/São Miguel do Oeste-SC

Dra. Andreia Hansen Osher
EMBRAPA / Bento Gonçalves-RS

Lages, 04 de agosto de 2022

À quem é eterno

AGRADECIMENTOS

À Deus.

À minha família, pelo apoio, incentivo e ensinamentos.

Aos meus orientadores Cristiano André Steffens e Mariuccia Schlichting De Martin, pela oportunidade, confiança, amizade, dedicação e orientação de excelência.

Aos colaboradores da Epagri de São Joaquim e da Sanjo, pelo apoio e fornecimento de materiais para desenvolvimento do projeto.

Aos professores e colegas graduandos e pós-graduandos, especialmente da equipe do laboratório de fisiologia e tecnologia pós-colheita, pela amizade, ensinamentos de qualidade, auxílio na realização de experimentos, suporte, dedicação e paciência na realização das atividades.

À UDESC de Lages, pela estrutura de materiais e apoio e pela oportunidade de realização do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES e Ao Programa de Bolsas do Fundo de Apoio à Manutenção e ao Desenvolvimento da Educação Superior – FUMDES, pela concessão da bolsa de estudos.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de cultivares de macieira desenvolvidas no Brasil para o mercado de minimamente processados (MP), avaliando atributos de cor relacionados ao escurecimento da polpa, atividade enzimática e demais atributos físico-químicos das maçãs 'SCS417 Monalisa', 'SCS425 Luiza', 'SCS426 Venice', 'Daiane', 'Kinkas', 'SCS427 Elenise', 'Maxi Gala' e 'Fuji Mishima'. Também foi objetivo do estudo avaliar concentrações baixas do agente conservante eritorbato de sódio (ES) sobre o escurecimento da polpa e demais atributos de qualidade de maçãs das cultivares Luiza, Venice, Elenise e Fuji Mishima submetidas ao processamento mínimo após um curto e um longo período de armazenamento refrigerado (AR). As maçãs foram colhidas de pomares localizados no município de São Joaquim, SC, durante as safras 2018/2019 e 2019/2020. No experimento 1, foram avaliados atributos de cor relacionados ao escurecimento da polpa das maçãs. As maçãs foram cortadas ao meio, na porção equatorial, e dispostas em condições ambiente ($23\pm 2^{\circ}\text{C}/\text{UR}$ de $75\pm 5\%$), de maneira a induzir o escurecimento da polpa e conseqüentemente averiguar o padrão de escurecimento das cultivares. Foram realizadas leituras de atributos de cor na polpa dos frutos, em 14 intervalos de tempo e, através dos parâmetros coletados pelo colorímetro (L^* , a^* e b^*), foram avaliados a luminosidade da polpa, o índice de escurecimento (IE) e a mudança total de cor (ΔE). Nos experimentos 2 e 3, foram avaliados atributos de cor relacionados ao escurecimento da polpa das maçãs MP, atividade enzimática e demais atributos físico-químicos. Para o processamento mínimo das maçãs, o seguinte protocolo foi seguido: 1° imersão dos frutos em uma solução de hipoclorito de sódio (200 ppm) durante 10 minutos; 2° corte das maçãs em oito fatias longitudinais, retirando-se a região carpelar e mantendo-se a casca; 3° aplicação dos tratamentos nas maçãs MP, por imersão, durante 1 minuto; 4° acondicionamento das maçãs em bandejas de polietileno, em BOD com a temperatura em $5\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ e UR de $80\pm 8\%$. No experimento 2, os fatores avaliados foram: "tratamento antioxidante" (com e sem aplicação de ES a 5%); "período de armazenamento" (0, 3, 6 e 9 dias em BOD); "cultivar" ('Monalisa', 'Luiza', 'Venice', 'Daiane', 'Kinkas', 'Elenise', 'Maxi Gala' e 'Fuji Mishima'). No experimento 3, os fatores avaliados foram: "concentração de ES" (0, 0,5, 1, e 2%); "período de armazenamento" (0 e 10 dias em BOD); "cultivar" ('Luiza', 'Venice', 'Fuji Mishima' e 'Elenise'). Neste experimento, as maçãs foram conservadas

em AR ($0,5\pm 0,2$ °C e UR de $85\pm 5\%$), antes do processamento mínimo, por 5 e 100 dias. As maçãs da cultivar Venice apresentaram menor escurecimento da polpa em temperatura ambiente. As maçãs 'Venice', 'Elenise' e 'Fuji Mishima' MP apresentaram menor redução de luminosidade, alteração de tonalidade, escurecimento e mudança total de cor da polpa. O menor escurecimento da polpa em maçãs MP 'Elenise' e 'Venice' está relacionado com os menores teores de compostos fenólicos totais (CFT), menores atividades da PPO e POD, menor taxa respiratória e de produção de etileno e maiores teores de ácido ascórbico. Por outro lado, o maior escurecimento da polpa em maçãs MP 'Luiza' está relacionado às maiores taxas de respiração e produção de etileno e maiores teores de CFT e de atividade da PPO e POD. O emprego de agente conservante é fundamental para preservação das características de qualidade das maçãs MP, especialmente a manutenção da cor da polpa. ES é eficaz na manutenção da cor da polpa das maçãs e em demais atributos físico-químicos, mesmo em concentrações reduzidas, entre 0,5% e 2%. Além disso, o ES melhora a qualidade nutricional, como a atividade antioxidante total, o teor de CFT e os níveis de ácido ascórbico nos frutos MP. Maçãs MP depois de 100 dias em AR e tratadas com ES possuem o mesmo potencial daquelas processadas depois de 5 dias em AR. As maçãs 'Venice', 'Elenise' e 'Fuji Mishima' são as mais indicadas ao mercado de frutos MP, enquanto as maçãs 'Luiza', 'Daiane' e 'Maxi Gala' são as menos recomendadas para o processamento mínimo. A dose de 2% de ES pode ser recomendada em maçãs MP das cultivares 'Elenise', 'Venice' e 'Fuji Mishima' para um armazenamento em temperatura de 5 °C e UR de 80% por até 10 dias.

Palavras-chave: *Malus domestica* Borkh; escurecimento da polpa; eritorbato de sódio

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the potential of apple cultivars developed in Brazil for the minimally processed (MP) market, evaluating color attributes related to fruit flesh browning, enzymatic activity and other physical-chemical attributes of 'SCS417 Monalisa', 'SCS425 Luiza', 'SCS426 Venice', 'Daiane', 'Kinkas', 'SCS427 Elenise', 'Maxi Gala' and 'Fuji Mishima'. The study also aimed to evaluate low concentrations of the preservative agent sodium erythorbate (ES) on fruit flesh browning and other quality attributes of apples of cultivars Luiza, Venice, Elenise and Fuji Mishima submitted to minimal processing after a short and a long period of cold storage (AR). The apples were harvested from orchards located in the municipality of São Joaquim, SC, during the 2018/2019 and 2019/2020 harvests. In experiment 1, color attributes related to apple fruit flesh browning were evaluated. The apples were cut in half, in the equatorial portion, and placed in ambient conditions ($23\pm 2^{\circ}\text{C}/\text{RH}$ of $75\pm 5\%$), in order to induce the browning of the fruit flesh and, consequently, to verify the browning pattern of the cultivars. Readings of color attributes in the pulp of the fruits were carried out at 14 time intervals and, through the parameters collected by the colorimeter (L^* , a^* and b^*), the pulp luminosity, the browning index (IE) and the total color change (ΔE). In experiments 2 and 3, color attributes related to the browning of the fruit flesh of MP apples, enzymatic activity and other physical-chemical attributes were evaluated. For the minimal processing of apples, the following protocol was followed: 1st immersion of the fruits in a solution of sodium hypochlorite (200 ppm) for 10 minutes; 2nd cut the apples into eight longitudinal slices, removing the carpel region and keeping the peel; 3rd application of treatments on MP apples, by immersion, for 1 minute; 4th packaging of apples in polyethylene trays, in BOD with temperature at $5\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ and RH of $80\pm 8\%$. In experiment 2, the factors evaluated were: "antioxidant treatment" (with and without application of ES at 5%); "storage period" (0, 3, 6 and 9 days in BOD); "cultivars" ('Monalisa', 'Luiza', 'Venice', 'Daiane', 'Kinkas', 'Elenise', 'Maxi Gala' and 'Fuji Mishima'). In experiment 3, the factors evaluated were: "ES concentration" (0, 0.5, 1, and 2%); "storage period" (0 and 10 days in BOD); "cultivars" ('Luiza', 'Venice', 'Fuji Mishima' and 'Elenise'). In this experiment, apples were stored in AR ($0.5\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ and RH of $85\pm 5\%$), before minimal processing, for 5 and 100 days. The apples of the Venice cultivar showed less browning of the fruit flesh at room temperature. 'Venice', 'Elenise' and 'Fuji Mishima' MP apples showed less light reduction, hue change,

browning and total color change of the fruit flesh. The lower fruit flesh browning in 'Elenise' and 'Venice' MP apples is related to lower levels of total phenolic compounds (CFT), lower PPO and POD activities, lower respiratory rate and ethylene production and higher levels of ascorbic acid. On the other hand, the greater browning of the fruit flesh in MP 'Luiza' apples is related to the higher rates of respiration and ethylene production and higher levels of CFT and PPO and POD activity. The use of a chemical anti-browning agents is essential to preserve the quality characteristics of MP apples, especially the maintenance of the color of the fruit flesh. ES is effective in maintaining apple fruit flesh color and other physical-chemical attributes, even at low concentrations, between 0.5% and 2%. In addition, ES improves nutritional quality, such as total antioxidant activity, CFT content and ascorbic acid levels in MP fruits. MP apples after 100 days in AR and treated with ES have the same potential as those processed after 5 days in AR. 'Venice', 'Elenise' and 'Fuji Mishima' apples are the most suitable for the MP fruit market, while 'Luiza', 'Daiane' and 'Maxi Gala' apples are the least recommended for minimal processing. The dose of 2% ES can be recommended in MP apples of cultivars 'Elenise', 'Venice' and 'Fuji Mishima' for storage at a temperature of 5 °C and RH of 80% for up to 10 days.

Keywords: *Malus domestica* Borkh; fruit flesh browning; sodium erythorbate

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Variação da luminosidade (L^*) na polpa de oito cultivares de maçã em função do tempo após o corte dos frutos na região equatorial, durante quatro horas de exposição em condições ambiente ($23\pm 2^\circ\text{C}$ /UR de $75\pm 5\%$), na safra 2018/2019.....
- Figura 2. Variação do escurecimento normalizado na polpa de oito cultivares de maçãs em função do tempo após o corte dos frutos na região equatorial, durante quatro horas de exposição em condições ambiente ($23\pm 2^\circ\text{C}$ /UR de $75\pm 5\%$), na safra 2018/2019.....
- Figura 3. Variação da mudança total de cor na polpa de oito cultivares de maçãs em função do tempo após o corte dos frutos na região equatorial, durante quatro horas de exposição em condições ambiente ($23\pm 2^\circ\text{C}$ /UR de $75\pm 5\%$), na safra 2018/2019.....
- Figura 4. Variação da perda de massa média de oito cultivares de maçãs minimamente processadas em função do tempo de armazenamento em BOD ($5\pm 0,5^\circ\text{C}$ e UR de $80\pm 8\%$), após o tratamento com e sem o antioxidante eritorbato de sódio. Safra 2018/2019.....
- Figura 5. Perda de massa em oito cultivares de macieira minimamente processadas tratadas e não tratadas com o antioxidante eritorbato de sódio, depois de nove dias armazenadas em BOD ($5\pm 0,5^\circ\text{C}$ e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2018/2019.....
- Figura 6. Força para penetração da polpa (média de oito cultivares de maçãs minimamente processadas) em função do tempo de armazenamento ($5\pm 0,5^\circ\text{C}$ e UR de $80\pm 8\%$), após o tratamento com e sem o antioxidante eritorbato de sódio. Safra 2018/2019....
- Figura 7. Variação da luminosidade (valores médios de oito cultivares de maçãs minimamente processadas) em função do tempo de armazenamento ($5\pm 0,5^\circ\text{C}$ e UR de $80\pm 8\%$), após o tratamento com e sem o antioxidante eritorbato de sódio. Safra 2018/2019....
- Figura 8. Luminosidade normalizada em oito cultivares de macieira minimamente processadas tratadas e não tratadas com o antioxidante eritorbato de sódio, depois de nove dias armazenadas ($5\pm 0,5^\circ\text{C}$ e UR de $80\pm 8\%$), na safra 2018/2019.....
- Figura 9. Variação do ângulo *hue* (valores médios de oito cultivares de maçãs minimamente processadas) em função do tempo de armazenamento ($5\pm 0,5^\circ\text{C}$ e UR de $80\pm 8\%$), após o tratamento com e sem o antioxidante eritorbato de sódio. Safra 2018/2019....
- Figura 10. Ângulo *hue* em oito cultivares de macieira minimamente processadas tratadas e não tratadas com o antioxidante eritorbato de sódio, depois de nove dias armazenadas ($5\pm 0,5^\circ\text{C}$ e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2018/2019.....
- Figura 11. Luminosidade (L^*) e tonalidade ($^\circ\text{Hue}$) da polpa natural de oito cultivares de maçãs minimamente processadas. Safra 2018/2019.....
- Figura 12. Variação do escurecimento normalizado (valores médios de oito cultivares de maçãs minimamente processadas) em função do

- tempo de armazenamento ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$), após o tratamento com e sem o antioxidante eritorbato de sódio. Safra 2018/2019.....
- Figura 13. Escurecimento normalizado em oito cultivares de macieira minimamente processadas tratadas e não tratadas com o antioxidante eritorbato de sódio, depois de nove dias armazenadas ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2018/2019.....
- Figura 14. Variação da mudança total de cor (valores médios de oito cultivares de maçãs minimamente processadas) em função do tempo de armazenamento ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$), após o tratamento com e sem o antioxidante eritorbato de sódio. Safra 2018/2019.....
- Figura 15. Mudança total de cor em oito cultivares de macieira minimamente processadas tratadas e não tratadas com o antioxidante eritorbato de sódio, depois de nove dias armazenadas ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2018/2019.....
- Figura 16. Variação da taxa respiratória (valores médios de oito cultivares de maçãs minimamente processadas) em função do tempo de armazenamento ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$), após o tratamento com e sem o antioxidante eritorbato de sódio. Safra 2018/2019....
- Figura 17. Taxa respiratória em oito cultivares de macieira minimamente processadas tratadas e não tratadas com o antioxidante eritorbato de sódio, depois de nove dias armazenadas ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2018/2019.....
- Figura 18. Variação da produção de etileno (valores médios de oito cultivares de maçãs minimamente processadas) em função do tempo de armazenamento ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$), após o tratamento com e sem o antioxidante eritorbato de sódio. Safra 2018/2019.....
- Figura 19. Produção de etileno em oito cultivares de macieira minimamente processadas tratadas e não tratadas com o antioxidante eritorbato de sódio, depois de nove dias armazenadas ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2018/2019.....
- Figura 20. Variação da atividade antioxidante, método DPPH, (valores médios de cinco cultivares de maçãs minimamente processadas) em função do tempo de armazenamento ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$), após o tratamento com e sem o antioxidante eritorbato de sódio. Safra 2018/2019.....
- Figura 21. Atividade antioxidante, método DPPH, em cinco cultivares de macieira minimamente processadas tratadas e não tratadas com o antioxidante eritorbato de sódio, depois de nove dias armazenadas ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2018/2019.....
- Figura 22. Atividade antioxidante, método ABTS, em cinco cultivares de macieira minimamente processadas tratadas e não tratadas com o antioxidante eritorbato de sódio, depois de nove dias armazenadas ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2018/2019.....
- Figura 23. Variação de compostos fenólicos totais (valores médios de cinco cultivares de maçãs minimamente processadas) em função do tempo de armazenamento ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$), após o

- tratamento com e sem o antioxidante eritorbato de sódio. Safra 2018/2019.....
- Figura 24. Compostos fenólicos totais em cinco cultivares de macieira minimamente processadas tratadas e não tratadas com o antioxidante eritorbato de sódio, depois de nove dias armazenadas ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2018/2019.....
- Figura 25. Atividade da enzima PPO em quatro cultivares de macieira minimamente processadas em função do tempo de armazenamento ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$), após o tratamento de eritorbato de sódio. Safra 2018/2019.....
- Figura 26. Atividade da enzima POD em quatro cultivares de macieira minimamente processadas em função do tempo de armazenamento ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$), após o tratamento com e sem o antioxidante eritorbato de sódio. Safra 2018/2019....
- Figura 27. Atividade da enzima SOD em quatro cultivares de macieira minimamente processadas em função do tempo de armazenamento ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$), após o tratamento com e sem o antioxidante eritorbato de sódio. Safra 2018/2019....
- Figura 28. Teor de ácido ascórbico de três cultivares de maçãs minimamente processadas em função do tempo de armazenamento ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$) após o tratamento com e sem o antioxidante eritorbato de sódio. Safra 2018/2019....
- Figura 29. Sólidos solúveis (A) e acidez titulável (B) de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas (média dos períodos 0 e 10 dias de armazenamento em BOD) em função da concentração de ES. Safra 2019/2020.....
- Figura 30. Perda de massa (média de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas) após 10 dias de armazenamento em BOD, em função da concentração de ES. Safra 2019/2020.....
- Figura 31. Força para penetração da polpa de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas (média de quatro concentrações de ES) em função do tempo de armazenamento em BOD ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2019/2020.....
- Figura 32. Luminosidade da polpa de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2019/2020.....
- Figura 33. Ângulo *hue* na polpa de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2019/2020.....
- Figura 34. Escurecimento da polpa de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2019/2020.....
- Figura 35. Mudança total de cor na polpa de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2019/2020.....

- Figura 36. Taxa respiratória (média de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas) em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2019/2020.....
- Figura 37. Taxa respiratória de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas (média dos períodos 0 e 10 dias de armazenamento em BOD – A, e média de quatro concentrações de ES – B) em função da concentração de ES. Safra 2019/2020..
- Figura 38. Produção de etileno de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2019/2020.....
- Figura 39. Atividade antioxidante pelo método ABTS de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2019/2020.....
- Figura 40. Atividade antioxidante pelo método DPPH de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2019/2020.....
- Figura 41. Teor de compostos fenólicos totais de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2019/2020.....
- Figura 42. Teor de ácido ascórbico (média de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas) em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2019/2020.....
- Figura 43. Teor de ácido ascórbico de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas (média dos períodos 0 e 10 dias de armazenamento em BOD – A, e média de quatro concentrações de ES – B) em função da concentração de ES. Safra 2019/2020..
- Figura 44. Atividade da enzima PPO na polpa de maçãs minimamente processadas ‘Elenise’ e ‘Luiza’ em função da cultivar (A), da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD (B) ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2019/2020.....
- Figura 45. Atividade da enzima POD na polpa de maçãs minimamente processadas ‘Elenise’ e ‘Luiza’ em função da cultivar (A), da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD (B) ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2019/2020.....
- Figura 46. Atividade da enzima SOD na polpa de maçãs minimamente processadas ‘Elenise’ e ‘Luiza’ em função da cultivar, da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2019/2020.....
- Figura 47. Sólidos solúveis (A) e acidez titulável (B) de quatro cultivares de maçãs que permaneceram 100 dias em AR ($0,5\pm 0,2$ °C e UR de $85\pm 5\%$) e em seguida foram minimamente processadas (média dos períodos 0 e 10 dias de armazenamento em BOD), em função da concentração de ES. Safra 2019/2020.....

- Figura 48. Força para penetração da polpa de quatro cultivares de maçãs que permaneceram 100 dias em AR ($0,5\pm 0,2$ °C e UR de $85\pm 5\%$) e em seguida foram minimamente processadas (média de quatro concentrações de ES), em função do tempo de armazenamento em BOD ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2019/2020.....
- Figura 49. Luminosidade da polpa de quatro cultivares de maçãs que permaneceram 100 dias em AR ($0,5\pm 0,2$ °C e UR de $85\pm 5\%$) e em seguida foram minimamente processadas, em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2019/2020.....
- Figura 50. Ângulo *hue* da polpa de quatro cultivares de maçãs que permaneceram 100 dias em AR ($0,5\pm 0,2$ °C e UR de $85\pm 5\%$) e em seguida foram minimamente processadas, em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2019/2020.....
- Figura 51. Escurecimento da polpa de quatro cultivares de maçãs que permaneceram 100 dias em AR ($0,5\pm 0,2$ °C e UR de $85\pm 5\%$) e em seguida foram minimamente processadas, em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2019/2020.....
- Figura 52. Variação da cor na polpa nas maçãs que permaneceram 100 dias em AR ($0,5\pm 0,2$ °C e UR de $85\pm 5\%$) e em seguida foram minimamente processadas, das cultivares Venice (A) e Elenise (B), em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$), após. Safra 2019/2020.....
- Figura 53. Mudança total de cor na polpa de quatro cultivares de maçãs que permaneceram 100 dias em AR ($0,5\pm 0,2$ °C e UR de $85\pm 5\%$) e em seguida foram minimamente processadas, em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2019/2020.....
- Figura 54. Taxa respiratória de quatro cultivares de maçãs que permaneceram 100 dias em AR ($0,5\pm 0,2$ °C e UR de $85\pm 5\%$) e em seguida foram minimamente processadas, em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2019/2020.....
- Figura 55. Produção de etileno de quatro cultivares de maçãs que permaneceram 100 dias em AR ($0,5\pm 0,2$ °C e UR de $85\pm 5\%$) e em seguida foram minimamente processadas, em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2019/2020.....

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Data da colheita, firmeza da polpa (FP), teor de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT) e índice de iodo-amido (IA) em frutos de oito cultivares de macieira na colheita, na safra 2018/2019.....
- Tabela 2. Luminosidade na polpa imediatamente após o corte (LP) e redução da luminosidade, em unidades de *lightness*, de oito cultivares de maçã em função do tempo após o corte dos frutos, na região equatorial e exposição em condições ambiente (temperatura de $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ /UR de $75\pm 5\%$), na safra 2018/2019.....
- Tabela 3. Escurecimento normalizado na polpa de oito cultivares de macieira em função do tempo (10 minutos, 1 hora, 4 horas, 10 horas e 2 dias) após o corte dos frutos na região equatorial e exposição em condições ambiente ($23\pm 2^{\circ}\text{C}$ /UR de $75\pm 5\%$), na safra 2018/2019.....
- Tabela 4. Mudança total de cor na polpa de oito cultivares de macieira em função do tempo (10 minutos, 1 hora, 4 horas, 10 horas e 2 dias) após o corte dos frutos na região equatorial e exposição em condições ambiente ($23\pm 2^{\circ}\text{C}$ /UR de $75\pm 5\%$), na safra 2018/2019..
- Tabela 5. Sólidos solúveis (SS) e acidez titulável (AT) em oito cultivares de macieira minimamente processadas tratadas e não tratadas com o antioxidante eritorbato de sódio, depois de nove dias armazenadas ($5\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2018/2019.....
- Tabela 6. Redução da luminosidade e alteração da tonalidade na polpa de oito cultivares de macieira minimamente processadas tratadas e não tratadas com o antioxidante eritorbato de sódio, depois de nove dias armazenadas ($5\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2018/2019.....
- Tabela 7. Data da colheita, firmeza da polpa (FP), teor de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT) e índice de iodo-amido (IA) em frutos de oito cultivares de macieira na colheita, na safra 2019/2020.....

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	17
2 PADRÃO DO ESCURECIMENTO DA POLPA DE NOVAS CULTIVARES DE MAÇÃ.....	24
2.1 INTRODUÇÃO	24
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	26
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
2.4 CONCLUSÕES	37
3 POTENCIAL DE DIFERENTES CULTIVARES DE MACIEIRA PARA UTILIZAÇÃO COMO PRODUTO MINIMAMENTE PROCESSADO	38
3.1 INTRODUÇÃO	38
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	40
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
3.4 CONCLUSÕES	82
4 QUALIDADE DE MAÇÃ MINIMAMENTE PROCESSADA EM FUNÇÃO DO USO DE ERITORBATO DE SÓDIO E DO PERÍODO DE ARMAZENAGEM DOS FRUTOS	84
4.1 INTRODUÇÃO	84
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	85
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	87
4.3.1 Maçãs MP depois do AR de 5 dias	87
4.3.2 Maçãs MP depois do AR de 100 dias	110
4.4 CONCLUSÕES	122
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	123
REFERÊNCIAS.....	126

1 INTRODUÇÃO GERAL

As maçãs têm uma longa história de associação com a civilização humana e mais de 8.000 anos de domesticação. A atual maçã domesticada (*Malus domestica* Borkh) tornou-se uma fruta de alto valor econômico com produção superior a 80 milhões de toneladas em todo o mundo (FAOSTAT, 2022). No Brasil, o agronegócio da maçã localiza-se na região Sul, envolvendo seus três estados, destacando-se a região de Vacaria e Bom Jesus, no Rio Grande do Sul, São Joaquim e Fraiburgo, em Santa Catarina, e Palmas, no Paraná (PETRI et al., 2011). Nos últimos anos, a produção brasileira de maçãs tem passado de um milhão de toneladas (FAOSTAT, 2022), envolvendo mais de 3000 pomicultores nesta atividade e gerando em torno de 150 mil empregos diretos e indiretos (PETRI et al., 2011).

A ingestão de maçã sempre foi associada a benefícios à saúde. Sua composição faz com que seja uma das frutas mais completas do ponto de vista nutricional. É rica em minerais, vitaminas e açúcares. O teor de fibras da maçã, principalmente o teor de pectina, é considerado benéfico para as funções gastrointestinais, ajudando a equilibrar o nível de açúcar no sangue e colesterol (ZHANG et al., 2017; CARRASCO-SANDOVAL et al., 2021). As maçãs contêm altos níveis de compostos biologicamente ativos, como os polifenóis, que não apenas contribuem para a cor, amargura e adstringência, mas também atuam como antioxidantes e podem ajudar a fornecer proteção contra doenças cardiovasculares e câncer (PIAGENTINI; PIROVANI, 2017; SACHINI et al., 2020).

O sucesso com a cultura da macieira no Brasil está ligado aos avanços tecnológicos que acompanharam a cultura, e para continuar com a progressão, existem algumas demandas para promover avanços principalmente no sistema de comercialização (PETRI et al., 2011). A grande expansão da macieira no país foi acompanhada por poucas inovações que estimulassem o consumo da maçã pelos brasileiros. A ausência de diversificação de cultivares e a forma de comercialização do fruto nas gondolas de supermercados são exemplos da carência do setor nesse âmbito que pode estar desestimulando o crescimento do consumo de maçãs.

No mundo todo, buscam-se inovações e novas tendências para manter o consumo e dispersão de maçãs em ascensão. Um exemplo é o desenvolvimento de novas cultivares de maçãs com polpa vermelha, criadas pelo cruzamento de maçãs silvestres, de polpa vermelha com cultivares domésticas (VOLZ et al., 2009). Outro

exemplo de tendência é o mercado de processados de maçãs. O consumo de sidras, sucos e maçãs minimamente processada (MP) está aumentando de forma rápida e importante. Em países da Europa e Japão verifica-se uma crescente demanda, tanto individual como institucional pela maçã MP (KOHATSU et al., 2009). Nos EUA, as maçãs MP emergiram como lanche popular nos programas de merenda escolar e no consumo da família, e a tendência é que esse mercado continue crescendo à medida que mais consumidores exigem um lanche rápido, conveniente, seguro, saudável e nutritivo (SUBHASHREE et al., 2017). Ainda segundo esses autores, no período de 2008 a 2012, as maçãs MP já representavam 1,4% do volume total de maçãs consumidas naquele país. Nesses países, os estudos para desenvolvimento de cultivares específicas para o processamento são avançados (HAMDAN et al., 2022).

O Brasil não possui um mercado estabelecido de maçã MP e as pesquisas neste setor são muito escassas. Dentre os inúmeros desafios, destaca-se a necessidade de encontrar cultivares mais apropriadas, em termos de qualidade e vida de prateleira potencial, uma vez que a cultivar é o principal fator para garantir a qualidade do produto MP. Os poucos estudos relacionados ao processamento mínimo de maçãs no país estão restritos à ‘Gala’ e à ‘Fuji’, as quais, apesar de serem as cultivares predominantemente produzidas, são bastante suscetíveis a deteriorações após o processamento, como o escurecimento enzimático da polpa (ROJAS-GRAÜ et al., 2006; BERTRAND et al., 2015). Contudo, cultivares desenvolvidas no Brasil podem apresentar potencial para o processamento mínimo devido à menor deterioração enzimática ou maior quantidade de substâncias naturalmente presentes na maçã com ação antioxidante (SACHINI et al., 2020). Além disso, Abbott et al. (2004), relatam que os consumidores preferem maçãs MP preparadas a partir de cultivares mais novas, em detrimento daquelas preparadas com materiais mais antigos.

Como opções de cultivares com efetivo potencial para o Brasil, podemos destacar os genótipos desenvolvidos pelo programa de melhoramento genético da Epagri: ‘SCS417 Monalisa’, ‘Daiane’, ‘Kinkas’, ‘SCS425 Luiza’, ‘SCS426 Venice’ e ‘SCS427 Elenise’. Estas cultivares apresentam vantagens em relação às cultivares ‘Gala’ e ‘Fuji’ devido a melhor adaptação climática nas regiões produtoras brasileiras, rendimentos semelhantes ou superiores e resistência à mancha foliar de *glomerella* (MFG). A cultivar Monalisa apresenta ainda, resistência a sarna da macieira. Os frutos de ‘Monalisa’ possuem uma boa aparência, com uniformidade de tamanho e coloração

vermelha da casca e uma alta qualidade gustativa, com teor de acidez superior à 'Gala'. As maçãs 'Monalisa' são normalmente colhidas de cinco a dez dias antes da 'Gala' e com capacidade de armazenamento semelhante (DENARDI et al., 2013). A cultivar Luiza é colhida no mesmo período e possui capacidade de armazenamento semelhante que a maçã 'Gala' (MAGRIN et al., 2017). Essa cultivar apresenta alta precocidade para entrar em produção (DENARDI et al., 2015b). 'Luiza' possui ainda a vantagem sobre a 'Gala' de apresentar baixa suscetibilidade à queda de frutos. A 'Venice' é uma cultivar que apresenta potencial produtivo e capacidade de armazenamento superior à 'Gala', e ainda tem a vantagem de ser colhida após a 'Gala' e antes da 'Fuji', preenchendo a lacuna existente entre a colheita dessas cultivares e permitindo um melhor aproveitamento da mão-de-obra (DENARDI et al., 2015c; DE MARTIN et al., 2018). A maçã 'Elenise' também possui diversas vantagens, como potencial de armazenagem superior à da 'Fuji' e maturação tardia dos frutos, permitindo que a colheita ocorra após a da 'Fuji' e, por esse motivo, permitindo ampliar substancialmente o período de colheita de maçãs no Sul do Brasil (DENARDI et al., 2015a). A cultivar Daiane produz frutos semelhantes à 'Gala' quanto à aparência, sabor e aroma. Assim como a 'Venice', tem o período de colheita comercial concentrado entre aqueles das cultivares Gala e Fuji, favorecendo o escalonamento da colheita (DENARDI; CAMILO, 1998; 2011; STANGER et al., 2013). A maçã 'Kinkas' possui importantes genes de resistência contra a sarna da macieira e tem características de ciclo tardio, com maturação ocorrendo em torno de uma semana após a 'Fuji'. Os frutos são globosos, possuindo epiderme com tonalidade vermelho-carmim, apresentando boa firmeza da polpa, semelhante à 'Fuji' e sabor adocicado (BONETI et al., 2009; SACHINI et al., 2018).

A qualidade da maçã é influenciada por fatores pré e pós-colheita. Além da cultivar, das práticas culturais, condições climáticas, maturação e método de colheita, o manuseio, as condições e tempo de armazenamento antes do processamento mínimo também podem impactar na qualidade das frutas MP. Outros fatores, como o método de preparo (ferramenta de corte, área da superfície de corte, lavagem e remoção da umidade da superfície), condições de manuseio (embalagem, comercialização e procedimentos de saneamento) e armazenagem (temperatura, velocidade de resfriamento e umidade) subsequentes ao processamento mínimo também contribuem para a qualidade final do produto MP (KADER, 2003).

Os hábitos dos consumidores quanto aos padrões de ingestão de alimentos também estão mudando rapidamente (HARICH et al., 2017). Os consumidores de todo o mundo estão cada vez mais preocupados com os alimentos que ingerem. Eles preferem comer alimentos saudáveis e nutritivos. Além disso, o estilo de vida atual destes consumidores também mudou. Atualmente a procura por produtos prontos para consumo e que atendam às exigências de qualidade são requeridos devido à praticidade (HAMDAN et al., 2022). A indústria de minimamente processados ganhou maior visibilidade diante desse cenário.

Os frutos minimamente processados são também denominados "fresh-cut", por sofrerem leve modificação nas características originais, mantendo o frescor e a qualidade (ENDO et al., 2006). Por definição, considera-se produto minimamente processado qualquer fruto ou hortaliça ou combinação destes, cuja forma original foi fisicamente alterada, mantendo-se entretanto no estado fresco (ALZAMORA et al., 1998). O processamento mínimo se caracteriza por uma série de etapas, como operações de seleção, lavagem, sanitização, descasque, corte, centrifugação, embalagem, armazenamento, comercialização, entre outros. Para Ahvenainen (1996), a tecnologia de processamento mínimo apresenta dois propósitos: manter o produto com características de fresco, disponibilizando-o numa forma conveniente e sem perdas na sua qualidade nutricional; e o produto deve apresentar uma vida de prateleira suficientemente longa para tornar sua distribuição viável aos consumidores.

Os frutos MP são comumente utilizados em restaurantes, hotéis, *fast foods*, supermercados e pela população que dispõe de pouco tempo para preparar seus alimentos. Para Nascimento et al. (2014), as vantagens para os consumidores de frutos MP são: maior praticidade no preparo dos alimentos, maior segurança na aquisição de produtos limpos e embalados e redução do desperdício. De acordo com a *Food and Agriculture Organization* (FAO), o manuseio de frutos durante os tratamentos pós-colheita causa uma perda de 20 a 40% de frutos colhidos a cada ano (HAMDAN et al., 2022). Desta maneira, o processamento mínimo de frutos pode ainda contribuir com a redução do desperdício de alimentos. No mercado hortifrutícola, tradicionalmente as maçãs são oferecidas ao consumidor desprovidos de embalagem ou de qualquer tratamento, sem denominações de origem ou indicações do modo de produção. Desta maneira, o consumidor da maçã MP tem como vantagem o conhecimento sobre a procedência e a escolha da marca que lhe convier (NASCIMENTO et al., 2014).

O rompimento do tecido vegetal causado pelo corte do processamento mínimo, provoca um estresse celular e respostas naturais à ferida. A célula vegetal contém diversos compostos mantidos em compartimentos separados por membranas semipermeáveis e ao fatiar o tecido essas membranas são rompidas, permitindo que compostos incompatíveis se encontrem e reajam de forma descontrolada e indesejável, como enzimas, compostos fenólicos e ácidos orgânicos. O exemplo mais claro desse efeito é o escurecimento enzimático, que é provocado pelo encontro da enzima polifenoloxidase (PPO) com um fenólico no citoplasma, produzindo pigmentos escuros no tecido lesionado (SALTVEIT, 2003). O principal problema dos vegetais MP, especialmente em maçã, é o escurecimento enzimático. Esse problema afeta a cor da superfície do fruto, que é o mais importante atributo de qualidade, pois os consumidores costumam julgar a qualidade de frutos MP com base na sua aparência (JANG; MOON, 2011). Jiang et al. (2016) enfatizam que o escurecimento da polpa em maçãs está relacionado à reação de oxidação, principalmente catalisada pela enzima PPO.

O processamento mínimo de frutas deve começar com a seleção dos frutos das cultivares mais adequadas, avaliando características como textura da polpa, compostos bioativos, potencial de escurecimento e outros atributos físico-químicos (PIAGENTINI; PIROVANI, 2017). O emprego de agentes conservantes também se faz necessário para prevenir a deterioração biológica e química da fruta após o processamento, impedindo a oxidação de pigmentos, sabores, lipídios e vitaminas (BENSID et al., 2020; FAN, 2022). Muitos conservantes têm sido estudados ao longo dos anos e sua efetiva ação na conservação das maçãs MP está diretamente relacionada à cultivar (FAN, 2022). Os agentes conservantes, também chamados de inibidores do escurecimento, podem ser classificados de acordo com seu modo de ação como: agentes antioxidantes, acidulantes, quelantes, complexantes ou inibidores enzimáticos, atuando diretamente nas enzimas, nos substratos ou ainda nos produtos de reação (SILVA; ROSA; VILAS BOAS, 2000). Ainda não há legislação específica no Brasil para os produtos minimamente processados estabelecendo os tipos de inibidores de escurecimento permitidos e os limites de aplicação (SILVA; ROSA; VILAS BOAS, 2000). Para Bensid et al. (2020), há também a necessidade de estabelecer em cada país um esquema regulatório apropriado para garantir aos consumidores a segurança e eficácia desses agentes. Sais de ascorbato, como o eritorbato de sódio (ES), apresentam ação antioxidante e resultados promissores na

inibição do escurecimento da polpa e manutenção da qualidade de maçãs MP (SEIFERT, 2017; CAROCHO et al., 2018; RIBEIRO et al., 2019a).

O eritorbato de sódio está autorizado como aditivo alimentar no Brasil, pela ANVISA (1999), na função de antioxidante para uso em carnes e produtos cárneos, com limite máximo de ingestão não especificado. Nos EUA, o ácido eritróico beneficiou-se da proibição dos sulfitos nas saladas e atuou como substituto destes. Lá, este composto é majoritariamente consumido (80%) sob a forma de eritroato de sódio, nomeadamente em carnes curadas, frutos congelados, vegetais, óleos, gorduras, mariscos e peixes (CAROCHO et al., 2018). Na União Europeia (UE), o eritroato de sódio está autorizado em conformidade com o Regulamento 1333/2008 sobre aditivos alimentares. Em 2016, um Painel de Aditivos Alimentares e Fontes de Nutrientes Adicionados aos Alimentos (Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to food (ANS), foi realizado pela Autoridade Europeia de Segurança Alimentar (European Food Safety Authority - EFSA), e emitiu um parecer científico reavaliando a segurança do eritroato de sódio como aditivo alimentar. Segundo o painel, o Comitê Conjunto de Especialistas FAO/OMS em Aditivos Alimentares (The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives - JECFA) avaliou o ácido eritróico e o eritroato de sódio em 1962, 1974 e 1990, e em sua última avaliação atribuiu uma ingestão diária aceitável “não especificada”. Já o Comitê Científico de Alimentos (The Scientific Committee on Food - SCF) da UE avaliou o ácido eritróico e o eritroato de sódio em 1987, 1990 e 1997, e considerou uma ingestão diária de 6 mg/kg/dia a recomendada (EFSA, 2016).

No painel realizado pela EFSA, concluiu-se que a absorção, distribuição, metabolismo e excreção do ES foi considerada semelhante à do ácido ascórbico. Além disso, o painel observou que a toxicidade aguda do ES é baixa, não houve indicação de efeitos adversos nos estudos de toxicidade subcrônica, não houve preocupação com relação à sua genotoxicidade nem quanto à carcinogenicidade e nenhum efeito histopatológico foi observado nos órgãos reprodutores masculinos e nem desenvolvimento de problemas no pré-natal. Desta maneira, o uso de ácido eritróico e eritroato de sódio como aditivos alimentares nos níveis de uso recomendado não apresentou riscos à saúde humana (EFSA, 2016). Embora, na EU, o uso de ES esteja autorizado somente para produtos de carne tratados ou não tratados termicamente, peixes processados e não processados, incluindo moluscos e crustáceos e ovas de peixes, a EFSA reconhece seu uso, por parte da indústria, em

outras categorias de alimentos como recheios de massas, produtos de padaria e confeitaria, produtos lácteos fermentados, gorduras, óleos e emulsões de gordura e óleo, processados de frutas e produtos hortícolas, etc. Com isso, o painel também observou, através dos resultados analíticos, que a segurança do ES como aditivo alimentar pode ser estendida para as categorias de alimentos onde o determinado aditivo não é autorizado (EFSA, 2016).

Diante disso, compreender os diferentes efeitos adversos do processamento mínimo em novas cultivares de maçã e aplicar as tecnologias de conservação mais indicadas é um grande avanço para fomentar um mercado em crescimento e estimular o consumo de alimento saudável, garantindo a segurança e a qualidade do produto.

2 PADRÃO DO ESCURECIMENTO DA POLPA DE NOVAS CULTIVARES DE MAÇÃ

2.1 INTRODUÇÃO

A maçã é o fruto de clima temperado de maior dispersão, comercialização e consumo como fruta fresca no mundo (HAUAGGE; BRUCKNER, 2002). No Brasil, o agronegócio da macieira conta com um histórico importante de organização e planejamento, mas precisa de inovações para o fortalecimento da cadeia e o aumento no consumo do fruto (CRUZ et al., 2015). A produção nacional foi crescendo juntamente com o aumento do consumo. Todavia, mesmo sendo a terceira fruta mais consumida pelos brasileiros, o volume de maçã consumido ainda é muito baixo, considerando a dimensão populacional do país e o consumo per capita em outros países. Nesse sentido, a promoção do mercado de minimamente processado na maçã pode motivar o aumento de consumo do fruto, assim como motivou o de outros alimentos (OMS-LIU et al., 2008).

Pesquisas indicam que a indústria de processamento mínimo da maçã tem grande potencial, e pode aumentar o consumo deste fruto. Nos EUA, segundo Subhashree et al. (2017), as maçãs minimamente processadas (MP) emergiram como lanche popular nos programas de merenda escolar e no consumo familiar, e a tendência é que este mercado continue crescendo à medida que mais consumidores exigem um lanche rápido, conveniente, seguro, saudável e nutritivo (HARICH et al., 2017). Oms-Liu et al. (2008) afirmam que o aumento na produção e no consumo de frutas MP pode ser explicado pelo estilo de vida dos consumidores modernos, aliado ao fato da maior procura por produtos *in natura*, pelos seus grandes benefícios, reduzindo o consumo de alimentos industrializados e de desperdícios de alimentos frescos.

O principal problema dos vegetais MP, especialmente a maçã, é o escurecimento enzimático. A maçã é altamente susceptível ao escurecimento enzimático devido sua estrutura e composição fenólica. Em sua composição existem enzimas e substratos específicos para a ação oxidativa enzimática (JAKOBEK et al., 2013). A intensidade do escurecimento depende da complexa interação entre atividade da enzima polifenoloxidase (PPO), presença do oxigênio molecular (O₂) e concentração dos compostos fenólicos que são os substratos da mesma (JIANG et

al., 2016). O corte do fruto, durante o processamento mínimo, facilita o contato entre a enzima e substrato, de forma que a intensidade e velocidade do escurecimento da polpa tornam-se dependentes do conteúdo de compostos fenólicos, atividade da enzima PPO e a natural capacidade antioxidante do fruto. Segundo Tappi et al. (2019), existe uma variação significativa na atividade da PPO em diferentes cultivares. Além disso, a capacidade antioxidante e os compostos fenólicos também apresentam grande variação entre cultivares (STANGER et al., 2017; STANGER et al., 2018).

O Brasil não possui uma indústria estabelecida de maçã MP e as pesquisas neste setor são muito escassas. Dentre os inúmeros desafios para este setor, destaca-se a necessidade de encontrar cultivares mais apropriadas em termos de qualidade e vida de prateleira potencial, uma vez que a cultivar é um dos principais fatores que exercem influência sobre o escurecimento enzimático (TAPPI et al., 2019). As cultivares 'Gala' e 'Fuji', que correspondem a mais de 90% da produção nacional (PETRI et al., 2011), são bastante suscetíveis ao escurecimento enzimático logo após o corte da polpa (ROJAS-GRAÜ et al., 2006; BERTRAND, et al., 2015).

Nos EUA já foram desenvolvidos estudos de modificação genética em cultivares de macieira com intuito de usá-las para o processamento mínimo (MAXMEN, 2017; HAMDAN et al., 2022). O Brasil não produz maçãs exclusivamente para uso industrial, como ocorre em outros países. Todavia, através de modificações genéticas e cruzamentos entre cultivares de maçãs, a pesquisa desenvolveu avanços agrônômicos com promoção de plantas adaptadas a condições climáticas e menos susceptíveis a fitopatógenos (FURLAN et al., 2010). Adicionalmente, o melhoramento permitiu o surgimento de maçãs com escurecimento enzimático tardio ou ausência de escurecimento, possibilitando ao fruto sofrer um estresse mecânico, durante o processamento, e a polpa permanecer inalterada em relação à cor, durante horas (ERCOLI et al., 2017; DENARDI et al., 2020). Assim, frutos com menor taxa ou ausência de escurecimento enzimático podem ser opções em potencial para às indústrias de minimamente processados, gerando um apelo sensorial com a cor quase inalterada.

Este trabalho tem como objetivo avaliar o escurecimento e a mudança total de cor da polpa em novas cultivares de maçãs, através de parâmetros colorimétricos, com a intenção de identificar uma ou mais cultivares de macieira desenvolvidas no Brasil com mínima ocorrência deste fenômeno.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Maçãs das cultivares Daiane, SCS427 Elenise, Fuji Mishima, Kinkas, SCS425 Luiza, SCS417 Monalisa, Maxi Gala e SCS426 Venice foram colhidas de pomares localizados no município de São Joaquim, SC, durante a safra 2018/2019. Após a colheita, foi efetuada uma padronização de calibre, e os frutos que apresentavam podridões, lesões ou defeitos foram eliminados. Os atributos de maturação (firmeza da polpa, acidez titulável, teor de sólidos solúveis e índice iodo-amido) foram avaliados, em todas as cultivares, após a colheita, e encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Data da colheita, firmeza da polpa (FP), teor de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT) e índice de iodo-amido (IA) em frutos de oito cultivares de macieira na colheita, na safra 2018/2019.

Cultivar	Data colheita	FP (N)	SS (°Brix)	AT (% ac. málico)	IA (1-10)
Monalisa	05/02	91,5	11,9	0,77	4,9
Luiza	13/02	88,3	11,4	0,43	5,8
Maxi Gala	18/02	74,2	10,7	0,39	7,2
Venice	15/03	81,9	13,0	0,50	6,9
Daiane	18/03	75,0	11,7	0,46	8,8
Fuji Mishima	18/03	75,2	12,5	0,44	7,7
Kinkas	26/04	75,9	12,7	0,49	7,1
Elenise	26/04	71,3	13,9	0,71	7,9

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Após a colheita, os frutos foram imediatamente levados ao laboratório para avaliação dos atributos de cor relacionados ao escurecimento da polpa. As maçãs foram cortadas ao meio, na porção equatorial, e dispostas em bandejas de papelão em condições ambiente ($23\pm 2^\circ\text{C}$ /UR de $75\pm 5\%$). Os frutos foram mantidos em condições ambiente, de maneira a induzir o escurecimento da polpa e consequentemente averiguar o padrão de escurecimento das cultivares, sem considerar que, após o corte para MP, estes produtos devem ficar sob refrigeração.

Após o corte, foram realizadas duas leituras de atributos de cor em regiões opostas da polpa dos frutos, utilizando um colorímetro, modelo CR 400 (Konica Minolta®, Tóquio, Japão), em 14 intervalos de tempo (0, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 180, 240, 360, 600, 1080, 1560, 2880 minutos). Através dos parâmetros coletados pelo colorímetro (L^* , a^* e b^*), foram avaliados a luminosidade da polpa (*Lightness*; L^*), o índice de escurecimento (IE) e a mudança total de cor (ΔE). O IE e ΔE foram obtidos

por meio das respectivas equações apresentadas abaixo, conforme Subhashree et al. (2017):

$$IE = \frac{100 \left[\left(\frac{a + 1,75L}{5,635L + a - 3,012b} \right) - 0,311 \right]}{0,17}$$

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L^* 0)^2 + (a^* + a^* 0)^2 + (b^* + b^* 0)^2}$$

A intensidade de escurecimento, durante o período após o corte das maçãs é representado pelo IE, sendo que quanto maior o valor do índice, mais severo é o escurecimento. Já os valores de ΔE indicam o quanto a amostra diferiu ou se distanciou do padrão. Quanto mais perto do valor 0, ou seja, quanto menor a diferença, mais próximo do padrão selecionado (HUNTERLAB, 1996). Cada cultivar apresenta uma tonalidade e uma luminosidade da polpa específica, sendo que algumas são naturalmente mais claras e outras mais escuras. Desta maneira, para eliminar a heterogeneidade entre as amostras e avaliar apenas o escurecimento ocorrido após o corte dos frutos, o atributo “índice de escurecimento” foi normalizado, utilizando o parâmetro inicial sempre como divisor comum, conforme a equação: $IE_{[0; 10; 20; (...); 2880]} / IE_{[0]}$ (NIAMNUY et al., 2008; SUBHASHREE et al., 2017).

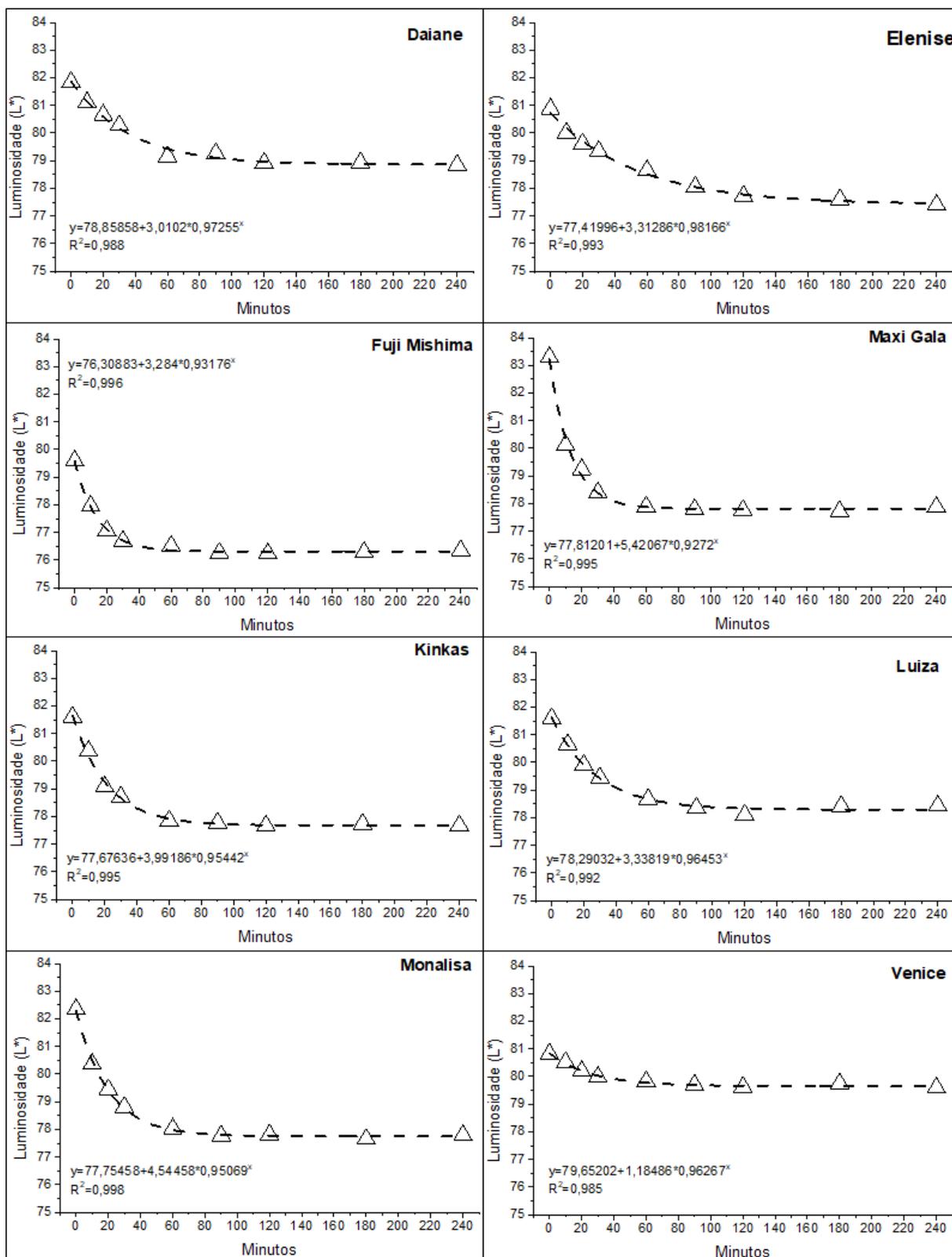
Este experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado; composto por 5 repetições de 10 frutos, seguindo um esquema fatorial “cultivar” (8) x “intervalo de leitura” (14), após a realização do corte dos frutos. Foi realizada análise da variância (ANOVA), e quando a interação entre os fatores foi significativa ($p < 0,05$), os dados foram submetidos ao desdobramento dos efeitos. Para o fator “cultivar” foi realizado teste de comparação de médias Scott-Knott, enquanto para o fator “intervalo de leitura” foi realizado análise de regressão. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa estatístico Sisvar, versão 5.6 (FERREIRA, 2010).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os fatores “cultivar” e “intervalo de leitura” apresentaram interação significativa em todas as variáveis analisadas. A redução máxima da luminosidade, o máximo escurecimento e a mudança total de cor na polpa das maçãs variaram em tempo e intensidade, dependendo das cultivares avaliadas. Contudo, substanciais alterações destas variáveis ocorreram, em média, durante os primeiros 50 minutos de exposição

à temperatura ambiente, após o corte dos frutos (Figuras 1, 2 e 3). As alterações de cor, decorrente do dano mecânico sofrido pelo tecido das maçãs após o corte, aparecem em alguns minutos, e, para Oyarzún et al. (2018), com uma manifestação máxima até 1 h depois do corte. Portanto, considerando o processo na indústria de minimamente processados, para reduzir essas alterações, os frutos recém-cortados devem ser armazenados em temperaturas próximas a 0 °C e sua manipulação deve ser realizada em temperaturas baixas, entre 4 °C e 10 °C (ESCALONA; LUCHSINGER, 2008), pois as temperaturas baixas reduzem as reações enzimáticas. Tomás-Barberán e Espin (2001) verificaram que em temperaturas de 0 °C a 4 °C a atividade da PPO tende a diminuir, reduzindo o escurecimento na polpa dos frutos.

Figura 1. Variação da luminosidade (L^*) na polpa de oito cultivares de maçã em função do tempo após o corte dos frutos na região equatorial, durante quatro horas de exposição em condições ambiente ($23\pm 2^\circ\text{C}$ /UR de $75\pm 5\%$), na safra 2018/2019.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Imediatamente após o corte dos frutos, comparando o valor de L* entre as cultivares, verificou-se que a luminosidade da polpa na cultivar Maxi Gala é maior, seguida pela cv. Monalisa e pelas cvs. Daiane, Kinkas e Luiza (Tabela 2). Sendo

assim, por estas cultivares apresentarem uma luminosidade da polpa naturalmente maior, a redução deste atributo tende a ser mais abrupta após o corte dos frutos e conseqüentemente ser percebida visualmente com mais facilidade em relação às demais cultivares. A cv. Fuji Mishima é a que possui a polpa com menor luminosidade, seguida pelas cvs. Elenise e Venice, ou seja, são as cultivares com menor propensão a grandes alterações na luminosidade da polpa após o corte dos frutos.

A variável L^* é um eficiente indicador do escurecimento da polpa de frutos durante o armazenamento, quer resultante de reações oxidativas de escurecimento, quer do aumento da concentração de pigmentos (ROCHA; MORAIS, 2003). Segundo Qi et al. (2011), o armazenamento sob baixa temperatura contribui para retardar a perda de luminosidade em maçãs MP.

Analisando a redução da luminosidade entre as cultivares, foi possível verificar diferenças logo aos 10 minutos após o corte (Tabela 2). Neste período, a 'Maxi Gala' apresentou a maior redução na luminosidade da polpa, seguida pela 'Monalisa' e pelas cvs. Fuji Mishima e Kinkas, enquanto as demais cultivares apresentaram menor redução da luminosidade, sem diferenças entre elas. Embora a luminosidade e a tonalidade da polpa característica de cada cultivar apresentem diferenças e peculiaridades entre elas, nota-se que algumas cultivares se destacam, mantendo seus atributos visuais muito próximos do natural, mesmo minutos após o corte da polpa e o início das reações de oxidação.

Após uma hora do corte dos frutos, a cultivar Maxi Gala seguiu como a cultivar com maior redução da luminosidade, em média 47% maior do que as demais, seguida pelas cultivares Kinkas e Monalisa e posteriormente as cultivares Luiza, Fuji Mishima e Daiane. A cultivar Venice foi a que apresentou menor redução da luminosidade. Na avaliação realizada 4 h após o corte, a cultivar Maxi Gala, seguida da cv. Monalisa e da cv. Kinkas foram as que apresentaram maior redução da luminosidade. Após 10 h, a 'Maxi Gala' e a 'Monalisa' apresentaram maior redução da luminosidade, enquanto a cv Fuji Mishima não diferiu da 'Venice', como as cultivares com menor redução da luminosidade da polpa. Após dois dias do corte das maçãs, as cultivares Maxi Gala, Kinkas e Monalisa apresentaram as maiores reduções de luminosidade na polpa sem diferenças entre si, seguidas pela cv. Luiza. A cultivar Venice foi a que apresentou menor redução da luminosidade na polpa durante todo o período de avaliação, até dois dias após o corte, variando com uma redução de luminosidade que chegou a 84% menor em relação às demais cultivares.

Os consumidores costumam julgar a qualidade de frutos MP com base na sua aparência (JANG; MOON, 2011). O atributo “luminosidade” é considerado um dos principais parâmetros de qualidade visual da polpa de frutos, sendo que quanto maior os valores de L^* , maior a aceitabilidade dos consumidores (ROCHA; MORAIS, 2003).

Tabela 2. Luminosidade na polpa imediatamente após o corte (LP) e redução da luminosidade, em unidades de *lightness*, de oito cultivares de maçã em função do tempo após o corte dos frutos, na região equatorial e exposição em condições ambiente (temperatura de $23\pm 2^\circ\text{C}$ /UR de $75\pm 5\%$), na safra 2018/2019.

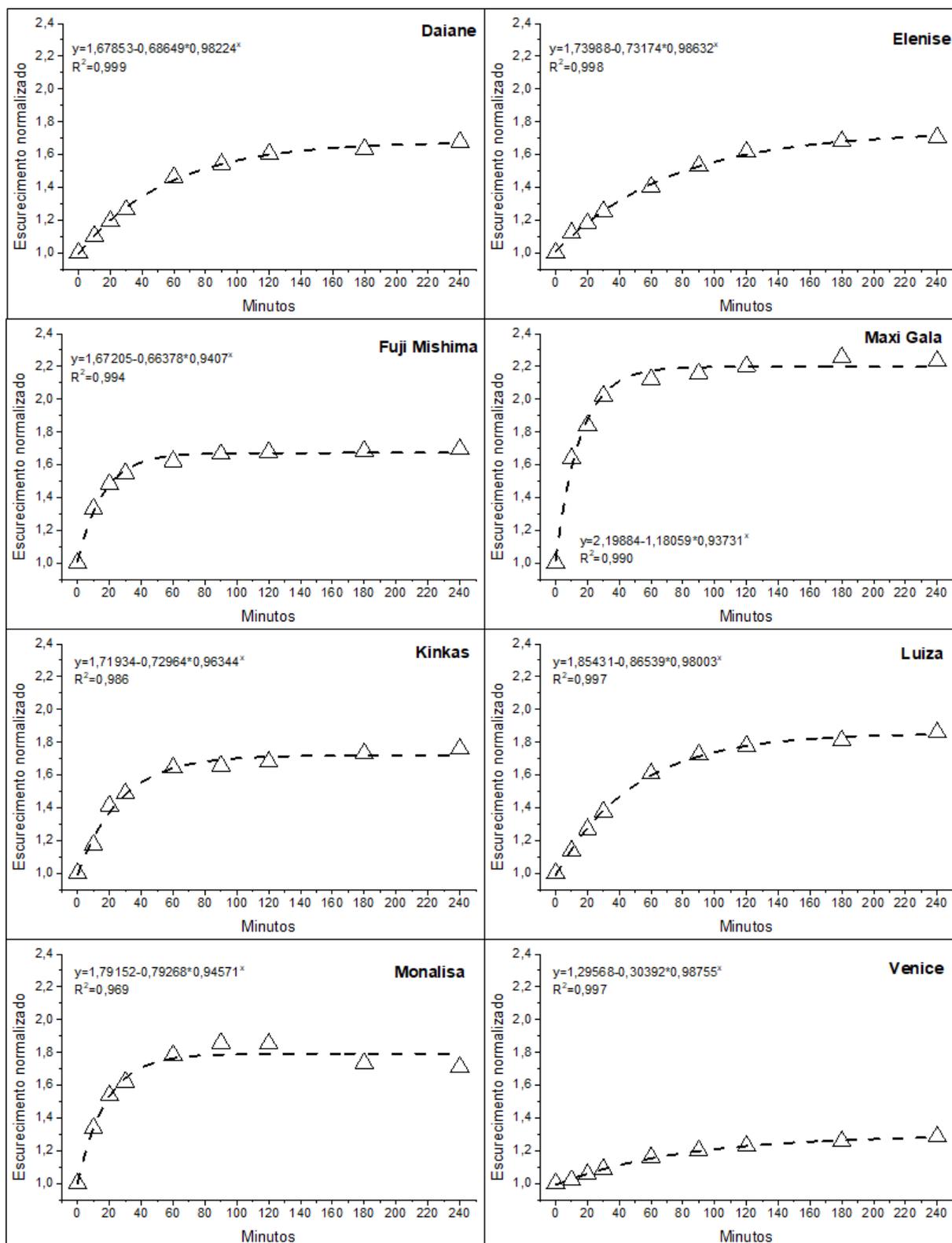
Cultivar	LP	Redução de luminosidade (L^*)				
		10	60	240	600	2880
		min				
Daiane	81,8 c	0,7 d	2,7 c	3,0 d	4,3 b	4,8 c
Elenise	80,9 d	0,9 d	2,2 d	3,5 d	3,9 b	5,3 c
Fuji Mishima	79,6 e	1,6 c	3,1 c	3,2 d	3,3 c	5,0 c
Maxi Gala	83,3 a	3,2 a	5,4 a	5,4 a	5,2 a	7,5 a
Kinkas	81,6 c	1,2 c	3,8 b	3,9 c	4,2 b	7,5 a
Luiza	81,6 c	0,9 d	2,9 c	3,2 d	4,3 b	6,6 b
Monalisa	82,3 b	2,0 b	4,3 b	4,6 b	4,9 a	7,2 a
Venice	80,8 d	0,3 d	1,0 e	1,2 e	2,7 c	1,0 d
CV (%)	0,6	15,2				

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

O escurecimento da polpa dos frutos, de cada cultivar, apresenta uma progressão até um ponto máximo, correspondendo à atividade máxima da PPO e POD sob seus substratos, indicando que estes substratos, contidos na superfície em contato com o ar, foram hidrolisados, transformando-se em pigmentos escuros (Figura 2). Após o ponto máximo de atividade, os atributos de cor ao longo do tempo não se modificaram significativamente, tendendo à uma constante durante o tempo final da análise. Todavia, o corte na porção equatorial das maçãs, as expõem num ambiente onde podem ocorrer modificações nesta região exposta, como a perda da umidade, alterando os resultados nas medições sucessivas.

Figura 2. Variação do escurecimento normalizado na polpa de oito cultivares de maçãs em função do tempo após o corte dos frutos na região equatorial, durante quatro horas de exposição em condições ambiente ($23\pm 2^\circ\text{C}$ /UR de $75\pm 5\%$), na safra 2018/2019.

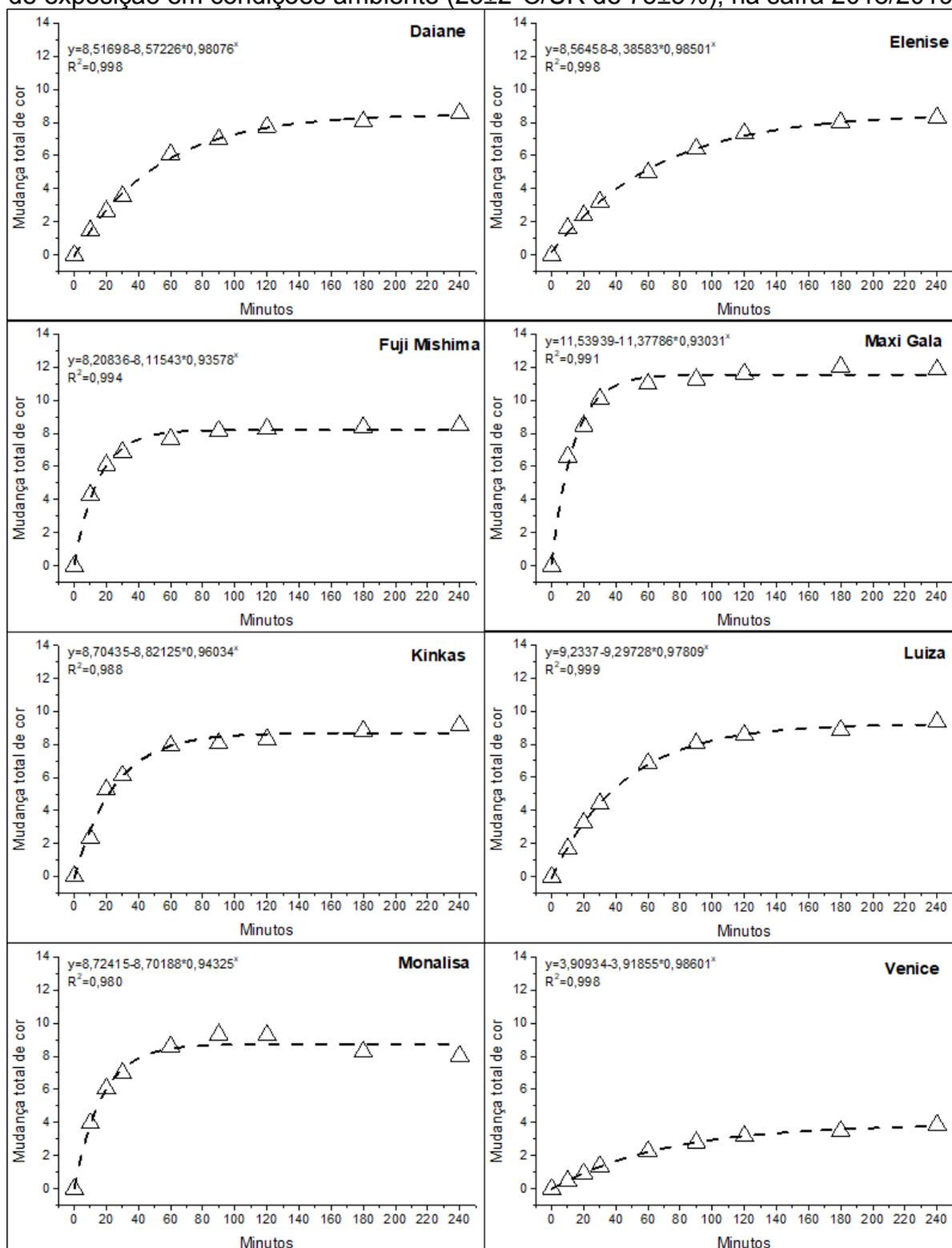


Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

A compreensão dos detalhes que envolvem o processo do escurecimento enzimático em diferentes cultivares é necessária para que seu controle possa ser realizado. Para Kumar et al. (2012), apesar dos muitos esforços realizados com a

utilização de tratamentos físicos que permitam a inibição da atividade enzimática da PPO, sem a adição de agentes químicos, estes não são suficientemente eficientes.

Figura 3. Variação da mudança total de cor na polpa de oito cultivares de maçãs em função do tempo após o corte dos frutos na região equatorial, durante quatro horas de exposição em condições ambiente ($23\pm 2^{\circ}\text{C}/\text{UR}$ de $75\pm 5\%$), na safra 2018/2019.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Em relação ao escurecimento da polpa, o destaque negativo foi a cultivar Maxi Gala, que apresentou escurecimento superior, variando, em média, entre 30 e 40% a mais em relação às outras cultivares, desde os 10 minutos até dois dias após o corte dos frutos (Tabela 3). O escurecimento da polpa em maçãs cortadas ocorre devido a reações químicas catalisadas principalmente pela enzima PPO. O papel da PPO, na reação de escurecimento enzimático, é oxidar fenóis em quinonas (CORTELLINO et al., 2015). As reações subsequentes, que ocorrem após a produção das quinonas, levam à polimerização de quinonas em pigmentos marrons (melanina).

Aos 10 minutos após o corte, as cultivares Fuji Mishima e Monalisa também apresentaram escurecimento da polpa superior às demais, porém, inferior à 'Maxi Gala'. Após uma hora do corte dos frutos, a cultivar Venice já apresentava o menor escurecimento entre todas as cultivares, e manteve-se como a cultivar com menor escurecimento até os dois dias após a realização do corte, numa variação média de 40% menos escurecimento. Na avaliação realizada após uma hora de realização do corte, as cultivares Daiane e Elenise também apresentaram um baixo escurecimento, superior apenas à 'Venice', enquanto a cultivar Monalisa apresentou alto escurecimento, inferior apenas em relação à 'Maxi Gala'. Com quatro e dez horas após o corte, a cultivar Luiza apresentou escurecimento superior às demais e inferior à 'Maxi Gala'. Ao final de dois dias, a cultivar Luiza seguiu como a segunda cultivar com maior escurecimento, enquanto a cultivar Fuji Mishima foi a segunda cultivar com menor escurecimento da polpa.

Tabela 3. Escurecimento normalizado na polpa de oito cultivares de macieira em função do tempo (10 minutos, 1 hora, 4 horas, 10 horas e 2 dias) após o corte dos frutos na região equatorial e exposição em condições ambiente ($23\pm 2^{\circ}\text{C}/\text{UR}$ de $75\pm 5\%$), na safra 2018/2019.

Cultivar	Tempo após o corte dos frutos (min)				
	10	60	240	600	2880
Daiane	1,10 c	1,46 d	1,68 c	1,71 c	2,04 c
Elenise	1,12 c	1,40 d	1,71 c	1,79 c	2,05 c
Fuji Mishima	1,33 b	1,62 c	1,69 c	1,70 c	1,85 d
Maxi Gala	1,64 a	2,12 a	2,23 a	2,29 a	2,67 a
Kinkas	1,17 c	1,64 c	1,76 c	1,80 c	2,15 c
Luiza	1,14 c	1,61 c	1,86 b	1,99 b	2,43 b
Monalisa	1,34 b	1,78 b	1,71 c	1,78 c	2,08 c
Venice	1,02 c	1,16 e	1,29 d	1,35 d	1,50 e
CV (%)	6,5				

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Nota: Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Para a mudança total de cor a cultivar Venice novamente foi destaque positivo, com menor alteração de cor, durante todo o período de avaliação. Em contrapartida, a cultivar Maxi Gala foi o destaque negativo, com a maior alteração de cor (Tabela 4). A oxidação causada pela atividade enzimática, além de causar alteração na cor da polpa das maçãs, também pode resultar em perda de qualidade nutricional e proporcionar modificações de sabor (CARVALHO et al., 2010). Segundo Son et al. (2001), a intensidade da cor marrom, resultante da atividade da PPO, depende do perfil de compostos fenólicos no tecido.

A mudança de cor na polpa das maçãs foi mais elevada na cultivar 'Maxi Gala', em todas as avaliações realizadas, e na cultivar Luiza, aos dois dias após o corte. A 'Venice' apresentou, em todas as avaliações, menor mudança total de cor, sendo que dois dias após o corte de seus frutos os resultados de mudança de cor foram similares aos da 'Maxi Gala' aos 10 minutos após o corte. Aos 10 minutos após o corte, as cultivares Fuji Mishima e Monalisa apresentaram mudança total de cor inferior apenas à cultivar Maxi Gala e superior às demais. Uma hora após o corte, as cultivares Kinkas e Fuji Mishima apresentaram mudança total de cor inferior apenas à 'Maxi Gala', seguidas pela cultivar Luiza. A 'Elenise' apresentou mudança total de cor superior apenas à 'Venice'. Em quatro horas após o corte dos frutos, as cultivares Maxi Gala e Venice apresentaram maior e menor mudança total de cor, respectivamente, enquanto as demais cultivares apresentaram resultados intermediários sem diferirem entre si. Em 10 h após o corte, a cultivar Luiza apresentou mudança total de cor inferior apenas à 'Maxi Gala' e superior as demais. Já após dois dias do corte dos frutos, a 'Luiza' e a 'Maxi Gala' apresentaram maior mudança total de cor, sem diferenças entre si, seguidas da cv. Kinkas, enquanto a cultivar Venice apresentou, dentre todas, a menor mudança de coloração.

Tabela 4. Mudança total de cor na polpa de oito cultivares de macieira em função do tempo (10 minutos, 1 hora, 4 horas, 10 horas e 2 dias) após o corte dos frutos na região equatorial e exposição em condições ambiente ($23\pm 2^{\circ}\text{C}$ /UR de $75\pm 5\%$), na safra 2018/2019.

Cultivar	Tempo após o corte dos frutos (min)				
	10	60	240	600	2880
Daiane	1,5 c	6,1 d	8,6 b	9,0 c	12,4 c
Elenise	1,6 c	5,0 e	8,3 b	9,2 c	11,8 c
Fuji Mishima	4,3 b	7,7 b	8,5 b	8,5 c	10,4 d
Maxi Gala	6,6 a	11,0 a	11,8 a	12,2 a	15,2 a
Kinkas	2,3 c	7,9 b	9,2 b	9,6 c	13,3 b
Luiza	1,7 c	6,9 c	9,3 b	10,6 b	14,5 a
Monalisa	4,0 b	8,6 b	8,0 b	8,7 c	11,9 c
Venice	0,5 d	2,3 f	3,9 c	4,9 d	6,7 e
CV (%)	11,4				

Nota: Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Os resultados de luminosidade, escurecimento e mudança total de cor na polpa dos frutos indicam que algumas cultivares apresentam maior potencial para a utilização na indústria de processamento mínimo. As cultivares Fuji Mishima, Elenise e especialmente Venice apresentaram os melhores resultados. Já a cultivar Maxi Gala, que atualmente é a mais produzida no Brasil (PETRI et al., 2011), apresentou resultados inferiores, indicando que dentre as cultivares avaliadas, pode não ser uma boa opção para o mercado de processamento mínimo de maçãs, ou que seu emprego para este fim depende da aplicação de antioxidantes e da temperatura de manipulação. A cultivar Fuji Mishima também tem um volume de produção elevado no país e pode ser melhor aproveitada para estes fins. Já as cultivares Elenise e Venice ainda estão em processo de difusão pelo Brasil, porém com boas perspectivas de cultivo devido a vantagens em relação aos clones de cvs. Gala e Fuji, como maior adaptabilidade as condições climáticas do país, resistência a doenças e boa qualidade dos frutos (DE MARTIN et al., 2018), além de menor velocidade de escurecimento e de alteração de cor da polpa, que pode tornar os frutos mais aptos para o processamento mínimo, conforme os resultados obtidos.

Para Denardi et al. (2020), além do alto potencial para o mercado de frutas frescas, a variedade de maçãs 'Elenise' pode promover mudanças nas indústrias de maçãs MP e de suco de maçã no Brasil que hoje dependem das cultivares 'Gala' e 'Fuji', pois apresenta lento escurecimento da polpa devido à baixa reação oxidativa de seus compostos. Os resultados deste trabalho corroboram com os autores e, ainda incluem a cultivar Venice nesse nicho de mercado em potencial, pois seus frutos também apresentam lento escurecimento da polpa.

2.4 CONCLUSÕES

As maçãs da cultivar Venice apresentam menor escurecimento da polpa, comparadas às demais cultivares estudadas. Esta cultivar apresenta maior potencial para utilização na indústria de minimamente processados, bem como na indústria de sucos de maçãs, por conta da menor alteração visual dos frutos após os danos mecânicos.

As maçãs das cultivares Fuji Mishima e Elenise também possuem potencial para o mercado de minimamente processados pelas baixas alterações visuais na polpa dos frutos. Todavia, estudos mais aplicados nestas cultivares devem ser realizados.

3 POTENCIAL DE DIFERENTES CULTIVARES DE MACIEIRA PARA UTILIZAÇÃO COMO PRODUTO MINIMAMENTE PROCESSADO

3.1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a produção de maçãs é limitada à 'Gala' e 'Fuji', incluindo suas mutações, com mais de 90% das áreas (PETRI et al., 2011). Desde o início do cultivo de maçãs no país, um dos principais desafios para os pomicultores tem sido a adaptação deficiente de cultivares de maçãs com alto requerimento em frio hibernal para o clima local. A questão da sanidade vegetal dos pomares também é um desafio considerável, uma vez que o clima das regiões produtoras e a suscetibilidade das cultivares de maçãs atuais favorecem muito o desenvolvimento de doenças (BONETI et al., 2009). Além disso, pomares com uma ou duas cultivares têm implicado em grande demanda por mão de obra nas atividades de colheita, primordialmente nos sistemas que abrangem grandes áreas, necessitando muitas vezes investimentos em moléculas químicas para escalar a colheita (KVITSCHAL; DENARDI, 2010). Esses problemas ocasionam um baixo rendimento da cultura, uma baixa qualidade das maçãs e altos custos de produção. Por essas razões, no início da década de 1970, foram iniciados os primeiros estudos sobre a criação de cultivares de maçãs no Brasil, dando origem ao Programa de Melhoramento Genético da Epagri. Os objetivos iniciais eram desenvolver e/ou introduzir novas cultivares de maçã bem adaptadas ao clima do sul do Brasil, que fossem resistentes às principais doenças e tivessem alto potencial de rendimento e alta qualidade de frutos (DENARDI et al., 2019).

Ao longo do tempo, com a elevação nos custos de produção da macieira e a escassez de mão de obra, novos objetivos foram adicionados ao programa de melhoramento, tais como: seleção de boas mutações espontâneas de 'Gala' e 'Fuji'; alta capacidade de armazenamento dos frutos; aumento das opções de cultivares comerciais para diversificar o período de colheita e a oferta ao consumidor; entre outros (DENARDI et al., 2019). Desta maneira, dezenas de cultivares foram lançadas pelo programa ao longo dos anos, como por exemplo as cultivares Monalisa, Daiane, Kinkas, Luiza, Venice e Elenise. Essas cultivares atendem aos objetivos iniciais do programa de melhoramento da Epagri, ou seja, possuem uma adaptabilidade climática melhor em relação às cultivares Gala e Fuji, apresentam bons rendimentos, com produtividades semelhantes ou até superiores às cultivares atualmente cultivadas no

país, possuem diferentes épocas de maturação, o que permite um escalonamento da colheita e são resistentes à algumas das principais doenças que acometem os pomares brasileiros, como a MFG (DENARDI et al., 2015a,b,c).

A seleção de cultivares voltadas para diversos fins de consumo está recebendo atenção em programas de melhoramento de macieiras em todo o mundo (LAURENS, 1999). Embora as cultivares de maçãs desenvolvidas no Brasil não objetivem, inicialmente, atender um mercado de produtos processados, como sucos, cidras ou mesmo maçãs MP, algumas destas cultivares podem apresentar potencial para estes fins, devido à menor deterioração enzimática ou maior quantidade de substâncias com ação antioxidante naturalmente presentes nos frutos (SACHINI et al., 2018). Kvitschal e Denardi (2010) ressaltam que a cadeia produtiva da maçã no Brasil é vulnerável por conta da restrita disponibilidade de opções de cultivares comerciais em uso. Mas também avaliam que a estagnação do mercado em relação a inovações e métodos modernos de comercialização também é um problema. Desta maneira, o mercado de maçãs minimamente processadas surge como uma alternativa interessante, sobretudo com a utilização de novas cultivares (HARICH et al., 2017). Para Persic et al. (2017), o estudo de novas cultivares nacionais com potencial para processamento mínimo pode impulsionar este mercado no país e aumentar o consumo de maçãs como também pode contribuir com a diversificação de cultivares nos pomares.

As cultivares apresentam características distintas em relação a atributos de maturação e qualidade, o que interfere diretamente no potencial para serem utilizadas como alimento MP. Os atributos como teor de compostos fenólicos e atividade das enzimas PPO e POD de cada cultivar estão relacionados ao escurecimento da polpa das suas maçãs (JIANG et al., 2016; TAPPI et al., 2019). Nas células vegetais, os compostos fenólicos estão localizados nos vacúolos, enquanto a PPO está localizada nos plastídios. Áreas danificadas nas células permitem o contato entre a PPO e compostos fenólicos, desencadeando a reação conhecida como escurecimento enzimático. Cultivares com alto teor de compostos fenólicos, que conferem alta atividade antioxidante são interessantes para consumo *in natura*, enquanto cultivares com baixa atividade enzimática, que reduzam a deterioração oxidativa, são relevantes para o processamento de maçãs (PODSEDEK et al., 2000). A compreensão dos detalhes que envolvem o processo do escurecimento enzimático em diferentes cultivares é necessária para que seu controle possa ser realizado. Levando isso em consideração, cada operação do processo deve ser projetada adequadamente para

obter um produto MP que mantenha sua qualidade e forneça o máximo de seu potencial bioativo. A qualidade destes produtos, considerando seus atributos físico-químicos, valor nutricional ou saudável, dependerá da qualidade da fruta colhida, que poderá sofrer alterações dependendo da cultivar utilizada. Essa é a razão pela qual a seleção da cultivar é provavelmente uma das etapas mais importantes no processamento mínimo de frutas frescas (PIAGENTINI; PIROVANI, 2017).

O uso de agentes conservantes confere outra etapa importante na preparação de frutos MP. Sais de ascorbato, como o ES, apresentam resultados promissores na inibição do escurecimento da polpa e manutenção da qualidade de maçãs MP (CAROCHO et al., 2018; RIBEIRO et al., 2019a). Sais de cálcio, como o cloreto, também têm sido utilizados em combinação com agentes antioxidantes, na prevenção da perda de firmeza de frutas e hortaliças inteiras e MP, sendo responsável pela redução de desequilíbrios fisiológicos e manutenção da cor (RAYBAUDI-MASSILIA et al., 2007; TECHAKANON; BARRETT, 2017).

Neste sentido, este trabalho teve como objetivo investigar o potencial de maçãs de cultivares desenvolvidas no Brasil para o mercado de minimamente processados, avaliando o escurecimento da polpa, atividade enzimática e demais atributos físico-químicos de maçãs das cultivares Monalisa, Luiza, Venice, Daiane, Kinkas e Elenise, Maxi Gala e Fuji Mishima MP e submetidas ou não à aplicação do agente conservante ES.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Maçãs das cultivares SCS417 Monalisa, SCS425 Luiza, Daiane, SCS426 Venice, Maxi Gala, Fuji Mishima, Kinkas e SCS427 Elenise foram colhidas de pomares localizados no município de São Joaquim, SC, durante a safra 2018/2019. Após a colheita, foi efetuada uma padronização de calibre, e os frutos que apresentavam podridões, lesões ou defeitos foram eliminados. Os atributos de maturação (firmeza da polpa, acidez titulável, teor de sólidos solúveis e índice iodo-amido) foram avaliados em todas as cultivares após a colheita, e encontram-se na Tabela 1.

Após a colheita, os frutos foram armazenados em câmara fria a $0,5 \pm 0,2$ °C e UR de $85 \pm 5\%$ durante 20 dias. Após o período em armazenamento refrigerado (AR), foi realizado o processamento mínimo dos frutos.

Para a montagem do experimento, as maçãs foram sanitizadas imergindo-as em uma solução de hipoclorito de sódio (200 ppm) durante 10 minutos. Após, as maçãs foram cortadas em oito fatias longitudinais, retirando-se a região carpelar e mantendo-se a casca. As fatias de maçãs de cada cultivar foram mergulhadas por um minuto nos seguintes tratamentos: 1. Sem antioxidante (água destilada + cloreto de cálcio 1%); 2. Com antioxidante (eritorbato de sódio 5% + cloreto de cálcio 1%). A decisão em deixar a casca foi devido à boa aceitação por parte dos consumidores em países desenvolvidos (PERSIC et al., 2017) e por conta da casca conter maior quantidade de compostos funcionais em relação à polpa (STANGER et al., 2017). Segundo Persic et al. (2017), o processamento mínimo de maçãs evitando a remoção da casca pode aumentar seu conteúdo fenólico em 28 a 56% e sua capacidade antioxidante em 65 a 78%, respectivamente, dependendo da cultivar de maçã. A escolha de ES com CaCl_2 foi baseada em resultados que comprovam sua ação na preservação de atributos de qualidade em maçãs processadas (CANTILLANO; RIBEIRO; SEIFERT, 2017). Posteriormente, oito fatias de maçãs foram colocadas em bandejas de polietileno tereftalato e armazenadas por quatro períodos de tempo (0, 3, 6, 9 dias), em BOD com a temperatura controlada em $5 \pm 0,5$ °C e UR de $80 \pm 8\%$. Johnston et al. (2001) mostraram que a faixa ótima de temperatura de armazenamento para maçãs MP é de 0 °C a 3 °C, dependendo da cultivar. No entanto, os resultados obtidos por Putnik et al. (2016), mostram que as temperaturas de 5 °C e 7 °C, que são comercialmente mais viáveis e mais utilizadas, também podem ser utilizadas para o armazenamento de maçãs.

Foram avaliados a perda de massa das maçãs MP, a textura da polpa, a acidez titulável (AT), o teor de sólidos solúveis (SS), as taxas respiratórias e de produção de etileno, a atividade antioxidante total (AAT), pelos métodos ABTS e DPPH, os compostos fenólicos totais (CFT), o teor de ácido ascórbico (AA) e a atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), peroxidase (POD) e PPO. Também foi avaliado o escurecimento da polpa, através de leituras colorimétricas e expresso em luminosidade, ângulo *hue* (°h), IE e ΔE , de forma similar como descrito no capítulo 1.

A AAT e os CFT foram determinados apenas nas cultivares que apresentaram resultados de qualidade mais relevantes (cvs. Luiza, Maxi Gala, Venice, Fuji Mishima e Elenise). A atividade das enzimas SOD, POD e PPO foram determinadas nas cultivares Luiza, Venice, Fuji Mishima e Elenise. O teor de AA foi determinado nas cultivares Luiza, Venice e Fuji Mishima.

A perda de massa foi calculada através de porcentagem, mensurando o peso da fruta no dia do processamento (Pi) e no dia da avaliação (Pf), conforme a fórmula: $(Pi-Pf)/Pi*100$.

A textura da polpa (N) foi mensurada em termos de força para penetração da polpa utilizando penetrômetro eletrônico TAXT plus® (Stable Micro Systems Ltda, Surrey, Reino Unido), com ponteira de 2 mm de diâmetro, sendo que as velocidades de pré-teste, teste e pós-teste foram, respectivamente, 30, 1, 30 e a distância 5 mm.

Os valores de AT (% de ácido málico) foram obtidos por meio de uma amostra de 5 mL de suco extraído das fatias dos frutos, diluídos em 45 mL de água destilada, e titulada com solução de NaOH 0,1 N até pH 8,1, utilizando titulador automático TitroLine® easy (SCHOTT Instruments, Mainz, Alemanha). Os teores de sólidos solúveis (°Brix) foram determinados em refratômetro digital, modelo PR201α (Atago®, Tóquio, Japão), com uma alíquota do suco extraído das fatias dos frutos.

As taxas respiratórias ($\eta\text{mol de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$) e de produção de etileno ($\eta\text{mol C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$) foram quantificadas por analisador de gases e cromatografia gasosa, respectivamente. Amostras de fatias de frutos de cada repetição ($\pm 1000 \text{ g}$) foram acondicionadas em recipientes, com fechamento hermético. As taxas respiratórias e de produção de etileno foram obtidas pela diferença da concentração de CO_2 e C_2H_4 , respectivamente, no interior do recipiente, imediatamente após o seu fechamento e após um determinado período. Para análise da concentração de CO_2 no interior do recipiente, o ar contido neste recipiente foi circulado, em sistema fechado, por meio de um analisador de gases O_2 e CO_2 (Schelle, Alemanha). Para a análise do etileno, duas amostras de gás foram coletadas da atmosfera do espaço livre dos recipientes, utilizando uma seringa plástica de 1,0 mL, e injetadas em um cromatógrafo a gás, marca PerkinElmer®, modelo Clarus 580 (Waltham, EUA), equipado com uma coluna Porapak N® de 3 m de comprimento (80-100 mesh) e detector de ionização de chama. As temperaturas da coluna, do detector e do injetor foram de 70; 250; e 130 °C, respectivamente. Os fluxos de nitrogênio, hidrogênio e ar sintético utilizados foram de 70, 45 e 450 mL min^{-1} , respectivamente.

Para obtenção dos extratos para as análises de AAT e CFT, foi retirada uma porção da polpa e uma porção de casca, de cada fatia dos frutos, de forma manual, com lâminas cortantes. As amostras foram maceradas em nitrogênio líquido. Para as extrações, foram utilizadas 5 g da polpa e 1 g de casca, que, após serem maceradas, foram homogeneizadas, de forma independente, em ultraturrax modelo D-91126

(Schwabach, Alemanha), com 20 mL de metanol/água (50:50, v/v), e deixados em repouso por 60 minutos. Após, as amostras foram centrifugadas na temperatura de 4 °C a 12.000 rpm durante 20 minutos. O sobrenadante foi salvo e ao resíduo adicionado 20 mL de acetona/água (70:30, v/v), deixando em repouso por 60 minutos, seguidos por uma nova centrifugação de 20 minutos nas mesmas condições. O sobrenadante das duas centrifugações foi transferido para balão volumétrico, completando o volume para 50 mL com água destilada.

A determinação da AAT por ABTS ($\mu\text{Mol trolox g}^{-1}$) foi realizada conforme metodologia descrita por Rufino et al. (2007a). O radical foi gerado a partir da reação da solução estoque de ABTS (7 mM) com o persulfato de potássio (140 mM), mantido no escuro por 16 h a 20 °C. Antes da análise, o radical ABTS foi diluído com álcool etílico até obter uma absorvância de $0,70 \pm 0,05$, no comprimento de onda de 734 nm. A partir do extrato hidroalcoólico, foram preparadas, em tubos de ensaio, três diluições diferentes, em triplicata. Foram transferidas alíquotas de 30 μL de cada diluição do extrato para tubos de ensaio com 3,0 mL do radical ABTS, e homogeneizadas em agitador de tubos. As leituras foram realizadas em uma leitora de microplacas modelo EnSpire (PerkinElmer, USA), no comprimento de onda de 734 nm, após 6 min de reação.

A determinação da AAT por DPPH ($\mu\text{Mol trolox } 100 \text{ g}^{-1}$) foi realizada conforme metodologia descrita por Rufino et al. (2007b). O radical DPPH (0,06 mM) foi preparado no dia da avaliação, diluído em metanol. Foi transferida uma alíquota de 0,1 mL do extrato hidroalcoólico para tubos de ensaio com 3,9 mL do radical DPPH, em triplicata, com posterior homogeneização em agitador de tubos. A medida de absorvância foi realizada no comprimento de onda de 515 nm, após 30 min de reação com adição da amostra.

A determinação de CFT ($\text{mg EAG } 100 \text{ g}^{-1}$) foi realizada utilizando o método Folin-Ciocalteu, conforme Roesler et al. (2007). Uma alíquota de 500 μL dos extratos foi adicionada a 2,5 mL do reagente Folin-Ciocalteu/água destilada (25:75, v/v), sendo agitada e mantida por três minutos para reagir. Após, se adicionaram 2,0 mL de solução de carbonato de sódio (10%), que novamente foi agitada e mantida em repouso durante uma hora. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro, no comprimento de onda de 765 nm.

Todas as etapas necessárias ao processo de determinação da atividade enzimática foram executadas a 4 °C. Para obtenção do extrato enzimático, utilizado

para as análises da atividade de SOD, POD e PPO, foram homogeneizadas 500 mg de amostra dos frutos em ultra-turrax, modelo SilentCruscher M, marca Heidolph (Schwabach, Alemanha), com 5 mL do meio de extração, composto do tampão fosfato de potássio 0,100 M, pH 7,0 (Vetec, Duque de Caxias, Brasil), contendo 1 mM de polivinilpirrolidona insolúvel (PVP) (Vetec, Duque de Caxias, Brasil) e 1 mM de ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA) (Synth, Diadema, Brasil), por 1 minuto. Após a homogeneização, adicionou-se 50 µL de Triton a 10% (Vetec, Duque de Caxias, Brasil). As amostras foram então mantidas em repouso por 15 minutos na geladeira e em seguida foram centrifugadas (modelo CR22N, marca Hitachi, Ibaraki, Japão) em temperatura de 4 °C por 15 minutos a 4000 rpm. O sobrenadante foi armazenado em eppendorfs a -50 °C até o momento das análises.

A atividade da enzima SOD foi determinada de acordo com o método descrito por Giannopolitis e Ries (1977), com modificações. As reações foram realizadas em três tubos distintos. No primeiro tubo, determinado como branco, uma alíquota de 50 µL de extrato bruto da amostra da polpa e 25 µL de extrato bruto de casca foi adicionada à 2,95 mL e 2,975 mL, respectivamente, do meio de reação, composto pelo tampão de fosfato de potássio 50 mM (Synth, Diadema, Brasil) pH 7,8, metionina 13 mM (Vetec, Duque de Caxias, Brasil), Cloreto de tetrazólio-nitroazul (NBT) 75 µM (Sigma-Aldrich, Cotia, Brasil), EDTA 100 nM (Vetec, Duque de Caxias, Brasil) e riboflavina 2 mM (Vetec, Duque de Caxias, Brasil), e permaneceram em reação cobertos por papel alumínio durante 10 minutos. O segundo tubo, chamado de controle, recebeu apenas a solução de trabalho, permanecendo pelo mesmo tempo de reação, porém recebendo luz. O terceiro tubo recebeu a solução de trabalho e a amostras, permanecendo por 10 minutos em reação sob luz. As leituras das amostras foram realizadas com auxílio de um leitor de microplacas modelo EnSpire (PerkinElmer, Waltham, USA) no comprimento de onda de 560 nm. Os resultados foram expressos em $\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg prote\i na}^{-1}$.

A quantificação da atividade da enzima POD foi determinada de acordo com a metodologia descrita por Hammerschmidt, Nuckles, Kuc (1982), com modificações. Uma alíquota de 100 µL do extrato bruto de casca e 300 µL para a polpa foi adicionada a 2,9 mL e 2,7 mL, respectivamente, do tampão de reação, composto de 5 mL do tampão de fosfato de potássio 50 mM, pH 6,0, (Vetec, Duque de Caxias, Brasil), 12,5 µL de guaiacol puro (Vetec, Rio de Janeiro, Brasil) e 16,3 µL de H₂O₂ puro (Vetec, Duque de Caxias, Brasil). Com auxílio de um leitor de microplacas modelo EnSpire

(PerkinElmer, USA), foi medida a absorvância das amostras durante 13 minutos, a cada 30 segundos, a 25 °C, em 470 nm. A atividade da enzima POD foi determinada de acordo com a inclinação da reta no intervalo de 0 a 13 minutos. Os resultados foram expressos em $\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg prote\acute{a}na}^{-1}$.

A quantificação da atividade da enzima PPO foi determinada conforme a metodologia descrita por Kar e Mishra (1976), com modificações. As reações foram realizadas em três tubos, sendo que no primeiro tubo adicionou-se 0,3 mL de solução tampão de fosfato de potássio 0,2 M, pH 6,7 (Vetec, Duque de Caxias, Brasil) e 1,85 mL de solução de catecol 0,1 M (Vetec, Duque de Caxias, Brasil), dissolvido na solução tampão. O segundo tubo, chamado de branco de amostra, recebeu 0,3 mL da amostra de extrato bruto e 1,85 mL de água deionizada. Por fim, no terceiro tubo adicionou-se 0,3 mL de amostra e 1,85 mL de catecol 0,1 M (Vetec, Duque de Caxias, Brasil). As leituras foram realizadas em um leitor de microplacas (PerkinElmer, modelo EnSpire, USA) no comprimento de onda de 395 nm. Os resultados foram expressos em $\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg prote\acute{a}na}^{-1}$.

A determinação de AA foi baseada na metodologia descrita por Mata et al. (2000), onde foi pesada 0,200 g de amostra dos frutos previamente triturada e misturada a 2 mL de solução tampão (KH_2PO_4) em pH 2,6. Após, foi realizada a centrifugação por 5 min a 10000 rpm a 4°C e filtrado 0,45 mm para injeção. A quantificação do AA foi realizada em HPLC (High-performance liquid chromatography), marca Shimadzu, modelo LC-10A. Foi utilizada uma coluna analítica Restek C18 (250 x 4,6 mm i.d.; tamanho das partículas, 5 μm) para a separação. A fase móvel foi de ácido fosfórico (400 mL). A taxa de fluxo foi de 0,8 mL / min e o volume de injeção de 20 mL, durante um tempo total de corrida de 10 min, com o detector fixado em 245 nm. A curva de calibração foi realizada com L-ácido ascórbico.

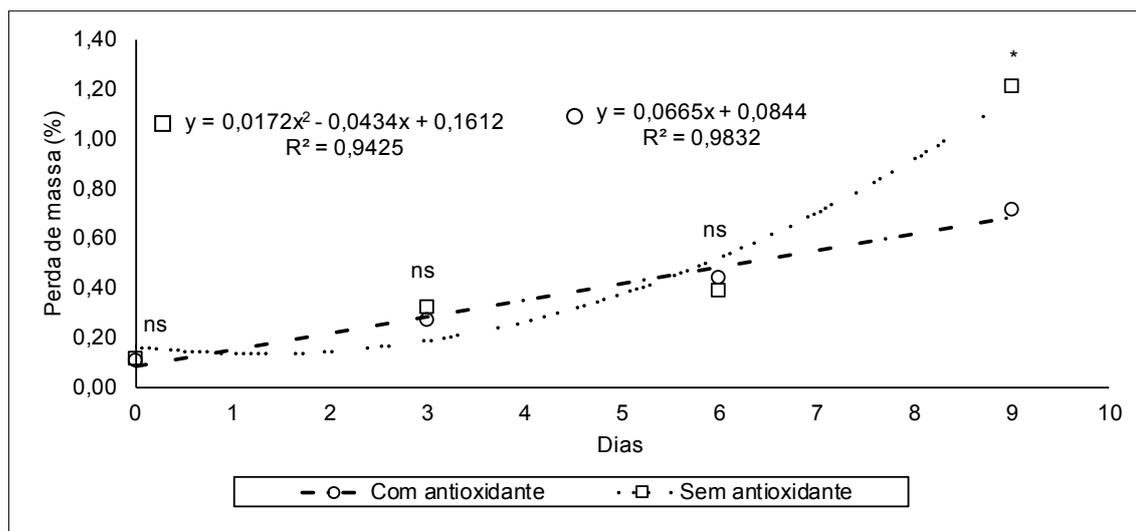
O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com esquema fatorial composto por “tratamento antioxidante” (com e sem aplicação) x “período de armazenamento” (2x4). Também foi analisado o fator “cultivar” em função do “tratamento antioxidante” (8x2) no último período de armazenamento (9 dias). Foram utilizadas 4 repetições e a unidade experimental foi constituída por uma bandeja com oito fatias de maçã.

Os dados foram submetidos à ANOVA, e quando a interação entre os fatores foi significativa ($p < 0,05$), os dados foram submetidos ao desdobramento dos efeitos. Para os fatores qualitativos, “tratamento antioxidante” e “cultivar”, foi realizado teste de comparação de médias Scott-Knott, enquanto para o fator quantitativo “período de armazenamento”, foi realizada análise de regressão. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa estatístico Sisvar, versão 5.6 (FERREIRA, 2010).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A perda de massa apresentou interação entre os fatores “tratamento antioxidante” (com e sem) e “tempo de armazenamento” e os fatores “cultivar” e “tratamento antioxidante”, sendo que a perda foi crescente nas maçãs MP ao longo do tempo de armazenamento, independentemente da aplicação de ES (Figura 4). Todavia, as maçãs sem o tratamento do antioxidante apresentaram uma perda de massa com progressão quadrática, sendo que após nove dias de armazenamento, apresentaram perda de massa quase 70% maior em relação às maçãs com a aplicação do antioxidante. A perda gradual de massa, durante o armazenamento, foi devido à exposição da polpa ao ar atmosférico com UR de $80 \pm 8\%$, potencializando a perda de água (PAJAK et al., 2017). Apesar do incremento da perda de massa com o tempo de armazenamento, a perda de massa foi baixa, sem comprometer a aparência final do produto, independente da cultivar, do tempo de armazenamento e do uso de antioxidante.

Figura 4. Variação da perda de massa média de oito cultivares de maçãs minimamente processadas em função do tempo de armazenamento em BOD ($5 \pm 0,5$ °C e UR de $80 \pm 8\%$), após o tratamento com e sem o antioxidante eritorbato de sódio. Safra 2018/2019.



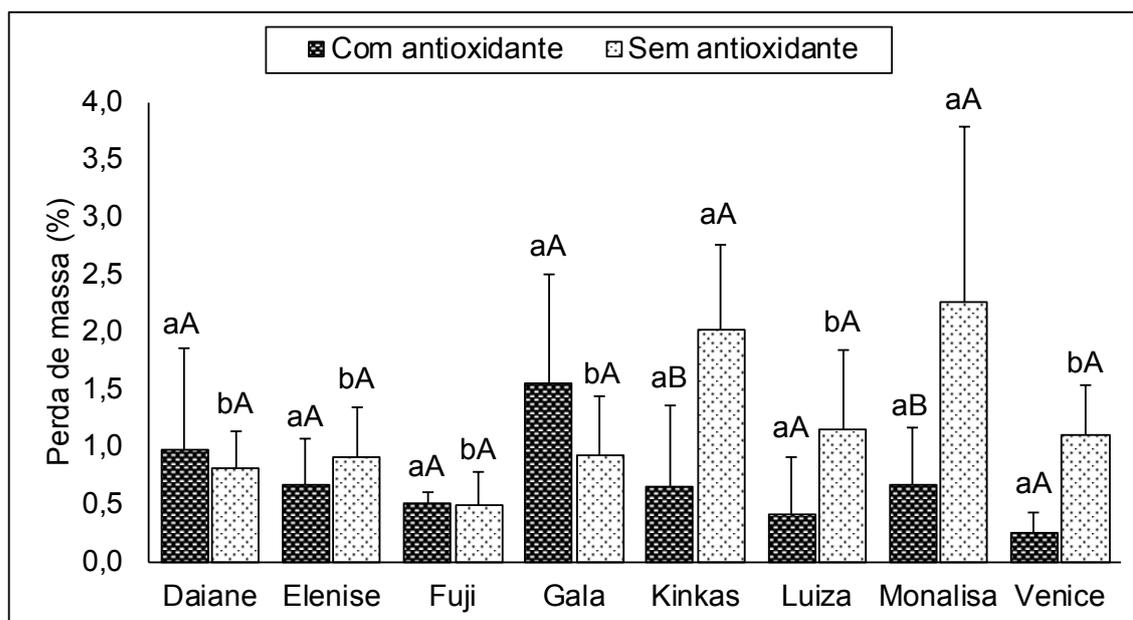
ns: não significativo; * significativo a 5%.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Após nove dias armazenadas em BOD, apenas as cultivares Kinkas e Monalisa apresentaram uma menor perda de massa quando receberam a aplicação de ES em comparação aos frutos que não receberam o antioxidante (Figura 5). Estas duas cultivares apresentaram maior perda de massa em relação às demais cultivares quando não foi aplicado o tratamento com antioxidante. Já quando aplicado o ES, as cultivares não apresentaram diferenças entre si na perda de massa.

Perda de massa elevada tem efeito fisiológico e pode comprometer a aparência, a textura e a qualidade nutricional de frutas (SANCHIS et al., 2016). A transpiração e o tempo de armazenamento são os principais fatores que ocasionam a perda de massa (ÖZDEMIR; GÖKMEN, 2019). Como era previsto, as maçãs MP apresentaram maior perda aos 9 dias. Todavia, a perda de massa foi relativamente baixa, não chegando a 2,5%. Finger e Vieira (1997) afirmam que a perda de massa máxima sem o aparecimento de murchamento ou enrugamento da superfície de frutos oscila entre 5% e 10%.

Figura 5. Perda de massa em oito cultivares de maçã minimamente processadas tratadas e não tratadas com o antioxidante eritorbato de sódio, depois de nove dias armazenadas em BOD ($5 \pm 0,5$ °C e UR de $80 \pm 8\%$). Safra 2018/2019.

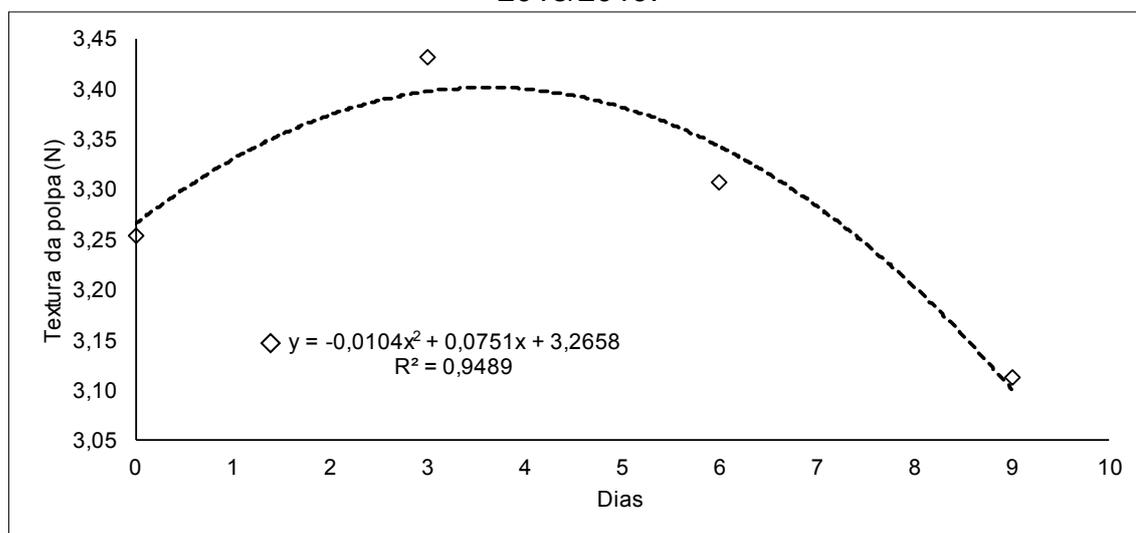


Letras minúsculas iguais nas barras escuras, letras minúsculas iguais nas barras claras e barras unidas com a mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Para a variável força para penetração da polpa não ocorreu interação entre os fatores “tratamento antioxidante” e “tempo de armazenamento”, nem entre os fatores “cultivar” e “tratamento antioxidante”. O uso do antioxidante ES não apresentou efeito sobre a força para a penetração da polpa (Figura 6). Todos os frutos (tratamentos com e sem antioxidante) receberam aplicação de CaCl_2 , o qual tem papel essencial na manutenção da integridade e textura da polpa, devido à sua ação como estabilizador de biomembrana, apoiando a integridade da parede celular da membrana (GANG et al., 2015). Além disso, condições apropriadas de processamento e armazenamento contribuem para evitar o amolecimento da polpa.

No período final de armazenamento ocorreu menor força necessária para penetração da polpa de maçãs MP, no entanto, nos primeiros dias de armazenamento, observou-se um pequeno aumento na força para penetração da polpa (Figura 6). Para Souza et al. (2005) este efeito deve-se à formação de um tecido superficial resistente, devido à maior perda de umidade, fazendo com que se tornem mais firmes durante o início do armazenamento. Outro fator que justificaria a elevação da força para penetração da polpa seria a lignificação provocada pela “cicatrização da superfície cortada”, processo induzido pelas injúrias causadas pelas operações do processamento mínimo (JACOMINO et al., 2004).

Figura 6. Força para penetração da polpa (média de oito cultivares de maçãs minimamente processadas) em função do tempo de armazenamento ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$), após o tratamento com e sem o antioxidante eritorbato de sódio. Safra 2018/2019.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

As variáveis SS e AT não foram afetadas pelo fator “tratamento antioxidante”, tampouco pelo fator “tempo de armazenamento” (Tabela 5). Olivas, Mattinson e Barbosa-Cánovas (2007) não verificaram redução significativa na concentração de ácido málico e no teor de sólidos solúveis, respectivamente, durante o período de armazenagem em estudos com maçãs Gala MP.

Aos nove dias de armazenagem, a interação entre os fatores “tratamento antioxidante” e “cultivar” não foi significativo para o teor de SS. O teor de SS foi cerca de 3% superior nas maçãs MP que não receberam o tratamento de ES (Tabela 5). Neste período de armazenagem, as maçãs sem o antioxidante apresentavam maior perda de massa, sendo que existe a possibilidade de aumento dos valores de SS pela perda da umidade (PIZATO et al., 2013). As cultivares Elenise, Kinkas, Fuji Mishima e Venice foram as que apresentaram maior teor de SS, enquanto a ‘Maxi Gala’ foi a que apresentou menor teor de SS. No entanto, estas variações nos teores de SS entre cultivares foram atribuídos aos pelos valores característicos de cada cultivar. Estudos recentes estão relacionando o teor de SS de maçãs com a suscetibilidade ao escurecimento da polpa em diferentes cultivares de maçãs, onde quão mais elevado o teor de SS, maior a suscetibilidade (KUMAR et al., 2018a). Drogoudi et al. (2008) estudando sete cultivares de maçãs, encontraram uma correlação entre maior atividade antioxidante, com maior teor de CFT, uma cor mais clara na polpa e menor teor de sólidos solúveis (PIAGENTINI; PIROVANI, 2017; (FANG et al., 2022). Wu et

al. (2007) relacionou maçãs com baixo teor de fenólicos com alto teor de SS e sugeriu que são adequadas para a produção de sucos de cor clara. Manzocco et al. (2001) observaram que a maior relação SS/AT de maçãs reflete tanto um sabor mais doce quanto uma maior suscetibilidade da fruta às reações de escurecimento durante as operações de processamento devido ao maior teor de açúcar. Além disso, os açúcares das maçãs podem acelerar reações não enzimáticas, o que também contribui para o escurecimento (SHRESTHA et al., 2020). Nesse sentido, refere-se que maiores teores de glicosídeos de cianidina podem promover o escurecimento não enzimático da maçã MP (FANG et al., 2022).

Tabela 5. Sólidos solúveis (SS) e acidez titulável (AT) em oito cultivares de macieira minimamente processadas tratadas e não tratadas com o antioxidante eritorbato de sódio, depois de nove dias armazenadas ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2018/2019.

Cultivar	SS (°Brix)			AT (%)		
	Antioxidante		Média	Antioxidante		Média
	Com	Sem		Com	Sem	
Daiane	11,9	12,3	12,1 b	0,37 dA	0,37 dA	0,37
Elenise	13,7	13,5	13,6 a	0,49 cA	0,50 bA	0,49
Fuji Mishima	13,1	13,1	13,1 a	0,31 eA	0,31 eA	0,31
Maxi Gala	10,6	11,6	11,1 c	0,39 dA	0,41 cA	0,40
Kinkas	13,2	13,4	13,3 a	0,33 eA	0,33 eA	0,33
Luiza	11,4	12,1	11,8 b	0,40 dA	0,37 dA	0,38
Monalisa	11,3	12,2	11,7 b	0,71 aA	0,71 aA	0,71
Venice	12,8	13,1	12,9 a	0,55 bA	0,47 bB	0,51
Média	12,3 B	12,6 A	12,4	0,44	0,43	0,44
CV (%)		4,8			6,1	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Para a AT houve interação entre os fatores “tratamento antioxidante” e “cultivar” aos nove dias de armazenamento. Apenas na cultivar Venice os frutos tratados com ES apresentaram maior AT em relação às maçãs que não receberam ES (Tabela 5). Nas demais cultivares, a AT não apresentou diferenças entre maçãs MP com e sem ES. Entre as cultivares que receberam a aplicação de ES, a ‘Monalisa’ foi a que apresentou maior AT, seguida por ‘Venice’ e posteriormente ‘Elenise’. Nas cultivares que não receberam a aplicação do antioxidante, a ‘Monalisa’ apresentou maior AT, seguida das cvs. Venice e Elenise e posteriormente da ‘Maxi Gala’. As cultivares Fuji Mishima e Kinkas foram as que apresentaram menor AT, em ambos os tratamentos

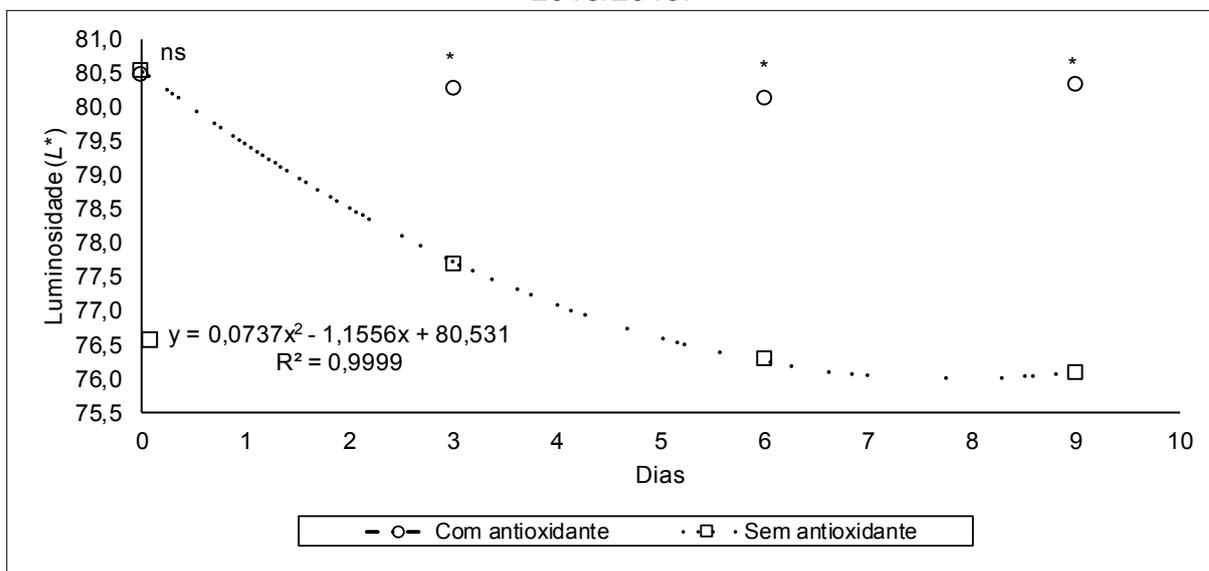
(com e sem ES). A acidez titulável constitui um fator de grande importância para o sabor e aroma das frutas, sendo que o pH influencia no escurecimento oxidativo dos tecidos vegetais (PETKOVŠEK et al., 2007). Os ácidos orgânicos também são usados como substrato respiratório para fornecimento de carbono e para produção de energia nas diferentes fases do ciclo vegetal. Para muitos autores, as cultivares que apresentam maior desenvolvimento de escurecimento estão relacionadas àquelas com maior atividade de PPO e/ou maior teor de compostos fenólicos (HOLDERBAUM et al., 2010; RODRIGUEZ-ARZUAGA; RIOS; PIAGENTINI, 2019). Porém, Martín et al. (2011) e Piagentini e Pirovani (2017) verificaram que além da atividade de PPO e dos compostos fenólicos, a acidez das maçãs também pode estar relacionada ao escurecimento da polpa. Para estes autores, cultivares de maçãs com menor acidez, tendem a apresentar maior desenvolvimento de escurecimento na polpa. Os ácidos orgânicos possuem propriedades ácidas fracas que podem ser encontradas naturalmente em frutas. A maioria dos ácidos orgânicos são conhecidos como ácidos carboxílicos, exibindo propriedades anti-escurecimento atribuídas às suas atividades quelantes de metais ou efeitos de redução de pH. Eles são ótimos inibidores de enzimas, pois são capazes de desativar a enzima PPO e a enzima POD baixando o pH do meio (HAMDAN et al., 2022).

Nas variáveis luminosidade da polpa, ângulo *hue*, IE e ΔE , houve interação entre os fatores “tratamento antioxidante” e “tempo de armazenamento” e entre os fatores “cultivar” e “tratamento antioxidante”.

A variável L^* é um eficiente indicador do escurecimento de frutos durante o armazenamento, quer resultante de reações oxidativas de escurecimento, quer do aumento da concentração de pigmentos (ROCHA; MORAIS, 2003). A luminosidade na polpa das maçãs MP teve redução apenas quando não houve aplicação de ES (Figura 7). Segundo Qi et al. (2011), o armazenamento sob baixa temperatura contribui para retardar a perda de luminosidade em maçãs MP. No entanto, apenas maçãs tratadas com o antioxidante não apresentaram redução significativa da luminosidade, indicando efetiva ação do ES na manutenção deste atributo de qualidade, enquanto os frutos sem tratamento apresentaram redução da luminosidade a partir dos três dias de armazenamento.

Figura 7. Variação da luminosidade (valores médios de oito cultivares de maçãs minimamente processadas) em função do tempo de armazenamento ($5 \pm 0,5$ °C e UR

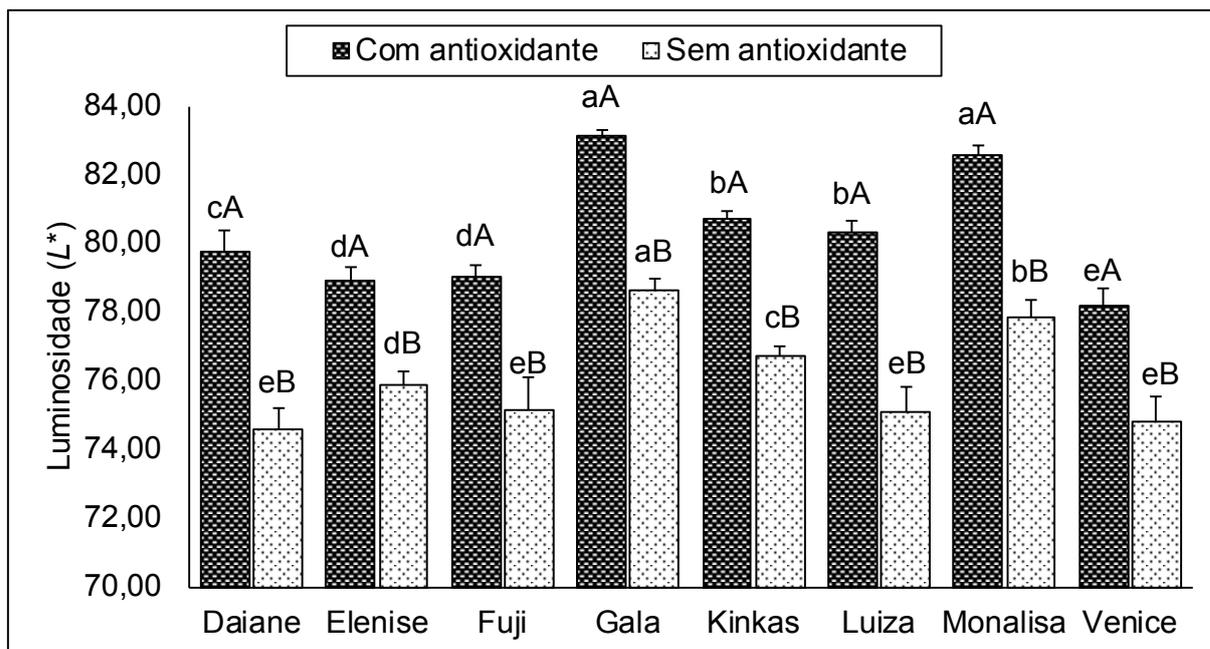
de $80\pm 8\%$), após o tratamento com e sem o antioxidante eritorbato de sódio. Safra 2018/2019.



ns: não significativo; * significativo a 5%.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Maçãs MP de todas as cultivares que não foram tratadas com ES após o corte apresentaram menor luminosidade na polpa, após nove dias de armazenamento (Figura 8). Embora as maçãs tratadas com ES não tenham apresentado redução significativa de luminosidade durante o armazenamento (Figura 7), algumas cultivares apresentaram maior redução da luminosidade em relação a outras, após nove dias (Tabela 6). As maçãs 'Daiane' e 'Venice' apresentaram maior redução de luminosidade entre os frutos tratados com ES, enquanto as maçãs 'Elenise', 'Fuji Mishima', 'Maxi Gala' e 'Monalisa' não apresentaram redução ao final dos nove dias. Desta maneira, entre as maçãs tratadas com ES, as cvs. Maxi Gala e Monalisa foram as que apresentaram maior luminosidade na polpa após nove dias armazenadas, com média de 81,6, seguidas pelas cultivares Kinkas e Luiza, com L^* médio de 80,5, e Daiane, com L^* de 79,8, enquanto a cv. Venice apresentou a menor luminosidade, com média de 78,2 (Figura 8). Estes resultados demonstram basicamente a luminosidade natural dos frutos de cada cultivar, sendo que, como observado, maçãs de diferentes cultivares apresentam luminosidades da polpa diferentes.

Figura 8. Luminosidade normalizada em oito cultivares de macieira minimamente processadas tratadas e não tratadas com o antioxidante eritorbato de sódio, depois de nove dias armazenadas ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$), na safra 2018/2019.



Letras minúsculas iguais nas barras escuras, letras minúsculas iguais nas barras claras e barras unidas com a mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Nos frutos que não receberam a aplicação de ES, a redução de luminosidade foi maior em relação aos frutos que receberam o antioxidante, para todas as cultivares (Figura 8 e Tabela 6). Nestes frutos, sem o ES, as cultivares Daiane e Luiza foram as que tiveram a luminosidade da polpa mais reduzida enquanto as cultivares Elenise e Fuji Mishima apresentaram a menor redução. Entre as maçãs não tratadas com ES, as cvs. Daiane, Luiza e Fuji Mishima não diferiram da cv. Venice, como as cultivares com menor luminosidade após nove dias armazenadas (Figura 8). Já a 'Maxi Gala' foi a maçã que apresentou maior luminosidade da polpa, após nove dias, quando não foi aplicado ES, seguida de 'Monalisa' e depois de 'Kinkas'. Mesmo com luminosidade da polpa inferior, em relação a maioria das cultivares, 'Elenise' e 'Fuji Mishima' merecem destaque por apresentar menor redução da luminosidade ao longo do tempo em relação as demais.

A utilização de tratamentos físicos, como temperaturas baixas, que contribuem para inibição da atividade enzimática da PPO e conseqüentemente a redução no escurecimento da polpa não é suficientemente efetiva sem a adição de agentes químicos (KUMAR et al., 2012). Além disso, mesmo tratamentos físicos mais agressivos, como por exemplo tratamentos térmicos, apresentam efeitos variáveis dependendo da cultivar (PIAGENTINI; PIROVANI, 2017). Desta maneira, a busca por agentes químicos efetivos é bastante estudada (FAN, 2022).

O ES é um agente redutor (BUTA et al., 1999) comumente usado na indústria de alimentos. Pesquisas recentes indicam o ES como alternativa para reduzir a oxidação superficial em frutos MP (GROSS et al., 2016). O cloreto de cálcio, quando utilizado em associação com antioxidantes, é responsável pela redução dos desequilíbrios fisiológicos e manutenção da cor. Além disso, é recomendado devido à sua ação na manutenção da firmeza da polpa em uma ampla gama de frutas (TECHAKANON; BARRETT, 2017). Esse efeito está relacionado à sua ação na prevenção da degradação da membrana celular, com consequente redução na liberação de substratos para a atividade da PPO, protegendo, portanto, a cor dos produtos MP (PEREZ-CABRERA et al., 2011).

Tabela 6. Redução da luminosidade e alteração da tonalidade na polpa de oito cultivares de macieira minimamente processadas tratadas e não tratadas com o antioxidante eritorbato de sódio, depois de nove dias armazenadas ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2018/2019.

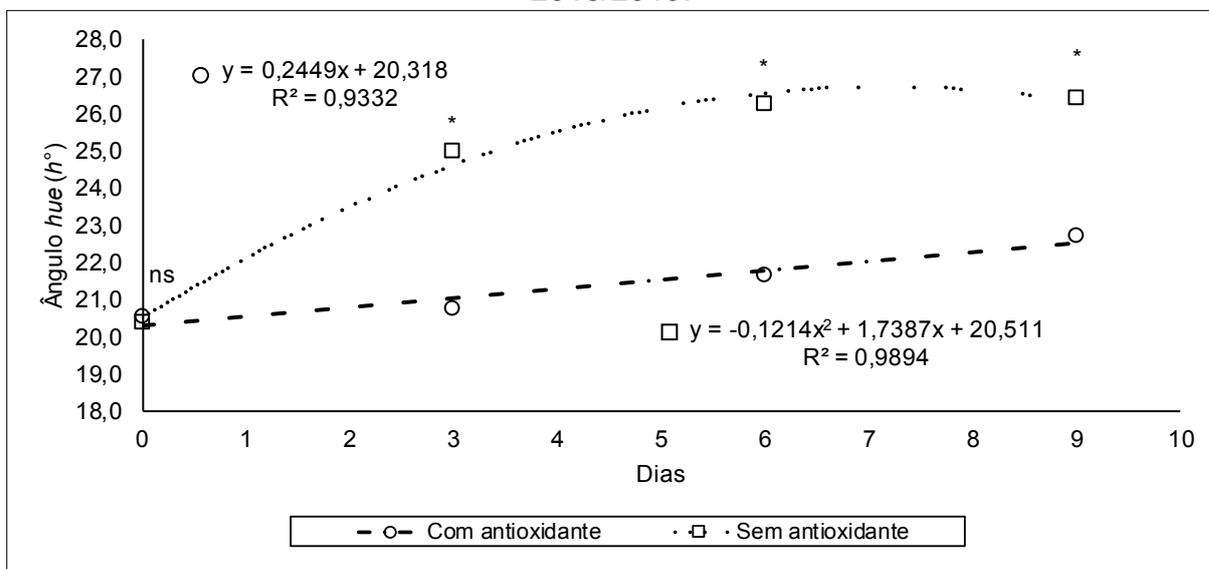
Cultivar	Redução de luminosidade (L*)		Alteração de tonalidade (°h)	
	Com antioxidante	Sem antioxidante	Com antioxidante	Sem antioxidante
Daiane	1,0 aB	6,0 aA	1,4 bB	7,4 aA
Elenise*	0,0 cB	3,4 cA	0,5 bB	5,5 bA
Fuji Mishima*	0,0 cB	3,7 cA	2,8 aB	6,4 bA
Maxi Gala*	0,0 cB	4,2 bA	2,0 bB	6,5 bA
Kinkas	0,3 bB	4,0 bA	2,9 aB	6,3 bA
Luiza	0,4 bB	5,6 aA	2,5 aB	8,0 aA
Monalisa*	0,0 cB	4,4 bA	3,3 aB	6,5 bA
Venice	1,2 aB	4,2 bA	1,7 bA	1,9 cA
CV (%)	19,3		20,5	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. *As maçãs 'Elenise', 'Fuji Mishima', 'Maxi Gala' e 'Monalisa' minimamente processadas não perderam luminosidade quando tratadas com o antioxidante eritorbato de sódio durante o tempo de armazenamento em BOD (temperatura de $5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$).
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

O ângulo *hue*, que expressa a tonalidade de cor, apresentou alteração ao longo do tempo de armazenamento das maçãs (Figura 9). Os frutos que receberam aplicação de ES sofreram alterações de tonalidade em progressão linear, enquanto os frutos que não receberam o tratamento do antioxidante, apresentaram progressão quadrática, sendo superior aos frutos com ES já a partir da primeira data de avaliação.

Figura 9. Variação do ângulo *hue* (valores médios de oito cultivares de maçãs minimamente processadas) em função do tempo de armazenamento ($5\pm 0,5$ °C e UR

de $80\pm 8\%$), após o tratamento com e sem o antioxidante eritorbato de sódio. Safra 2018/2019.

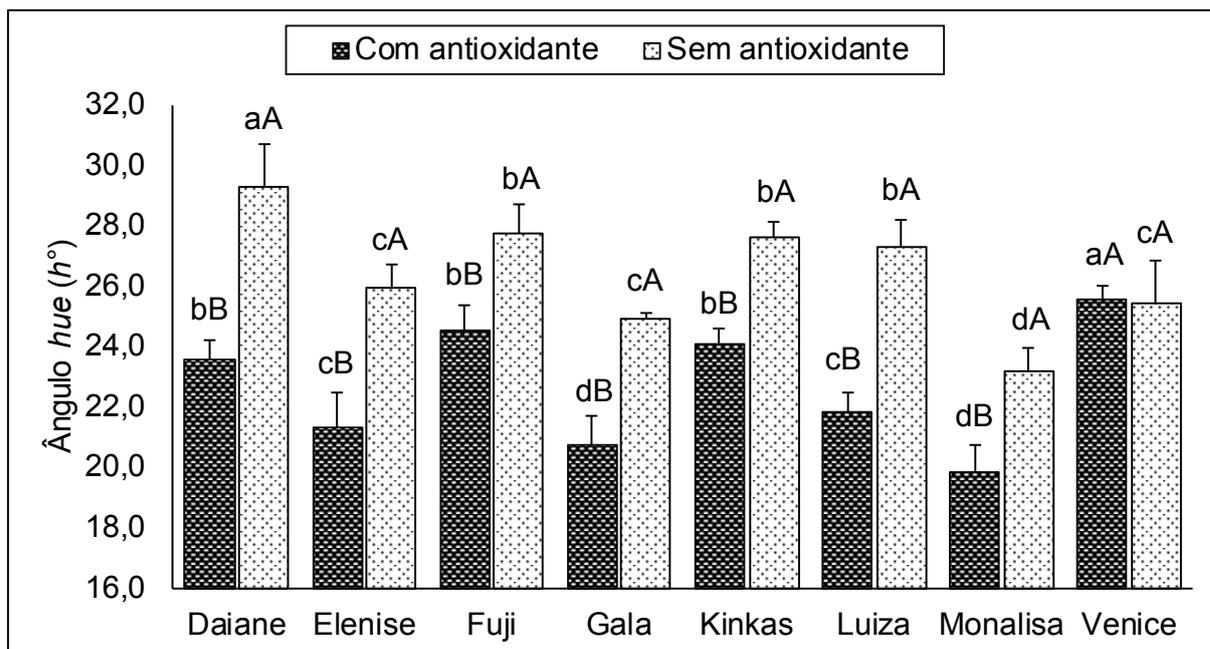


ns: não significativo; * significativo a 5%.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Aos nove dias de armazenamento, as cultivares de maçãs que receberam aplicação de ES apresentaram menor alteração do ângulo *hue* em relação às cultivares de maçãs que não receberam este tratamento, à exceção da cultivar Venice, que mesmo sem o ES obteve variação de tonalidade semelhante quando recebeu o antioxidante (Figura 10). Em relação às alterações de cor provocadas pelo processamento mínimo, avaliadas pelo colorímetro, observa-se um comportamento diferente da cv. Venice em relação às demais cultivares, onde sua luminosidade sofre variação significativa, mesmo com o uso de ES, enquanto sua tonalidade sofre o mínimo de variação mesmo quando não é utilizado ES.

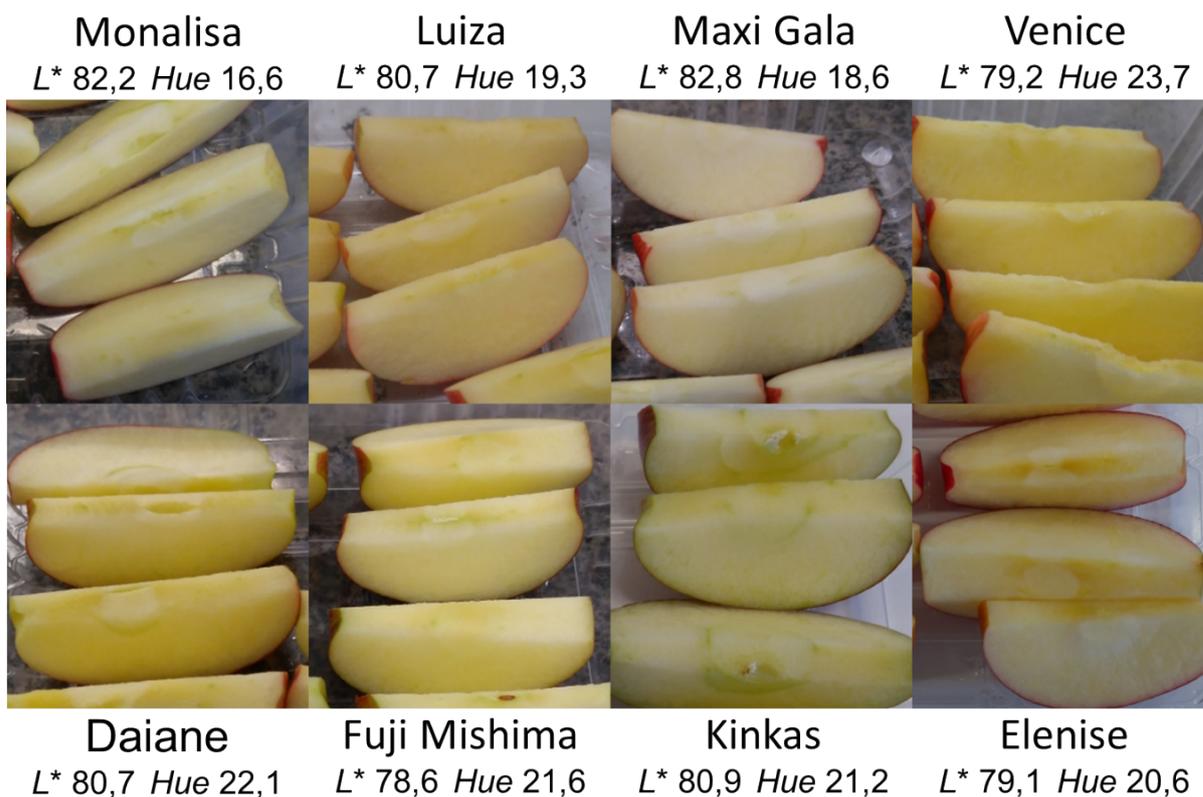
Figura 10. Ângulo *hue* em oito cultivares de macieira minimamente processadas tratadas e não tratadas com o antioxidante eritorbato de sódio, depois de nove dias armazenadas ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2018/2019.



Letras minúsculas iguais nas barras escuras, letras minúsculas iguais nas barras claras e barras unidas com a mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

No final do tempo de armazenamento em BOD, entre os frutos que receberam o tratamento de ES, as cultivares Venice, Maxi Gala, Elenise e Daiane, foram as que tiveram menor incremento no ângulo *hue*, apresentando consequentemente menor variação de tonalidade da polpa dos frutos (Tabela 6). Todavia, a cultivar Venice foi a que apresentou maior ângulo *hue* com 25,6 h°, seguida pelas cvs. Fuji Mishima, Kinkas e Daiane com média de 24,1 h°, enquanto 'Maxi Gala' e 'Monalisa' apresentaram o menor ângulo 20,3 h°. Para Manolopoulou e Varzakas (2011), o ângulo *hue*, juntamente com a luminosidade da polpa, são os dois parâmetros de cor mais adequados para medir a mudança de cor na superfície de corte dos frutos. Todavia, estes atributos expressam valores diferentes conforme a cor da polpa natural de cada cultivar e muitas vezes essas diferenças não têm relação com a mudança de cor provocada pelo corte e processamento dos frutos (Figura 11). Fang et al. (2022), relatam que maçãs sem polpa vermelha podem ser classificadas em grupos de polpa amarela e polpa branca, porém, poucas pesquisas foram realizadas para comparar as semelhanças e diferenças entre esses dois grupos. Desta maneira, as variáveis IE e ΔE expressam melhor a real mudança de cor ocasionada exclusivamente após o processamento das maçãs.

Figura 11. Luminosidade (L^*) e tonalidade ($^{\circ}Hue$) da polpa natural de oito cultivares de maçãs minimamente processadas. Safra 2018/2019.



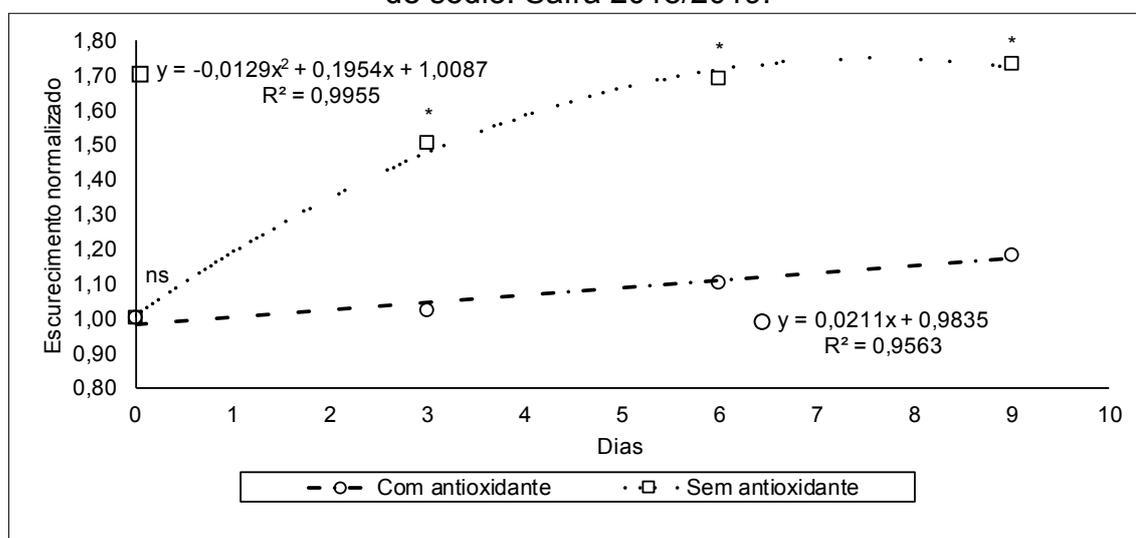
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Para os frutos que não receberam a aplicação do antioxidante, após nove dias de armazenagem, as cultivares Luiza e Daiane foram as que apresentaram maior alteração da tonalidade na polpa dos frutos (Tabela 6). Já a cultivar Venice foi a que apresentou menor alteração. Desta maneira, a cv. Daiane apresentou maior ângulo *hue* entre as maçãs não tratadas com ES, após nove dias, com h° de 29,3. Em seguida, 'Fuji Mishima', 'Kinkas' e 'Luiza', apresentando h° de 27,6, enquanto a 'Monalisa', com h° de 23,2 foi a que apresentou menor valor neste período (Figura 10).

O IE mede a pureza da cor marrom e é considerado um parâmetro essencial nos processos em que ocorre o escurecimento enzimático e não enzimático (KUMAR et al., 2018b). Esta variável apresentou comportamento semelhante ao do ângulo *hue*. O IE nos frutos que receberam aplicação de ES apresentou progressão linear, enquanto nos frutos que não receberam o tratamento do antioxidante, a progressão do IE foi quadrática e superior às maçãs com tratamento a partir da primeira data de avaliação (Figura 12). O escurecimento em maçãs MP ocorre devido a reações químicas catalisadas principalmente pela enzima PPO. O papel da PPO na reação de escurecimento enzimático é oxidar monofenóis em difenóis e subsequentemente

difenóis em quinonas (CORTELLINO et al., 2015). As reações subsequentes que ocorrem após a produção das quinonas levam à polimerização de quinonas em pigmentos marrons (melanina). A contribuição da POD para o escurecimento enzimático é menor, uma vez que atua na presença de peróxido de hidrogênio, cuja concentração é baixa em maçãs (MISHRA; GAUTAM; SHARMA, 2013).

Figura 12. Variação do escurecimento normalizado (valores médios de oito cultivares de maçãs minimamente processadas) em função do tempo de armazenamento ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$), após o tratamento com e sem o antioxidante eritorbato de sódio. Safra 2018/2019.



ns: não significativo; * significativo a 5%.

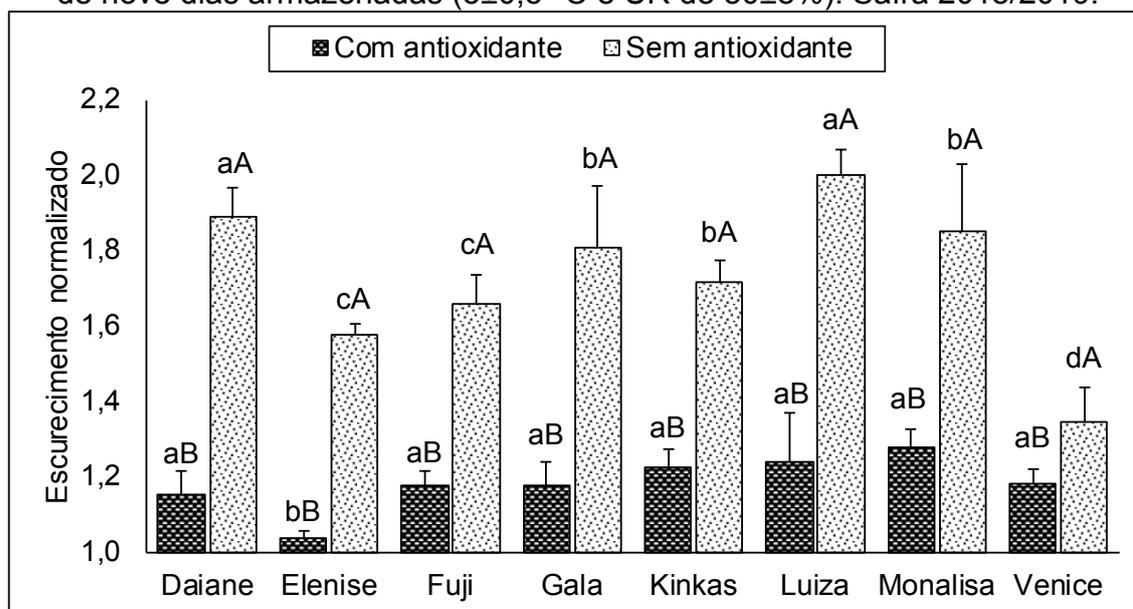
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Após nove dias de armazenamento, todas as cultivares que receberam a aplicação de ES apresentaram de 12 a 39% menor IE da polpa em relação aos frutos sem o antioxidante (Figura 13). Entre as cultivares, destacou-se a 'Elenise', que apresentou menor IE quando as maçãs receberam o tratamento com antioxidante. Quando as maçãs não receberam a aplicação do ES, destacou-se a cultivar Venice, que apresentou menor IE em relação às demais, seguida pelas cvs. Elenise e Fuji Mishima. Já 'Daiane', 'Luiza' e 'Monalisa' apresentaram maior IE da polpa quando não foi aplicado o ES.

Para Holderbaum et al. (2010), o potencial enzimático de escurecimento das maçãs depende do estágio de desenvolvimento do fruto, sendo predominantemente influenciado pelo teor de polifenóis e pela atividade da PPO, embora outros fatores, como a qualidade e a proporção relativa de polifenóis, também possam ser influentes. Ceymann et al. (2012) quantificaram 12 compostos fenólicos em 104 cultivares de

maçã e encontraram diferenças significativas na composição de polifenóis entre as cultivares. Desta maneira, as diferenças na composição fenólica das cultivares estudadas poderiam explicar as diversas respostas de IE observadas.

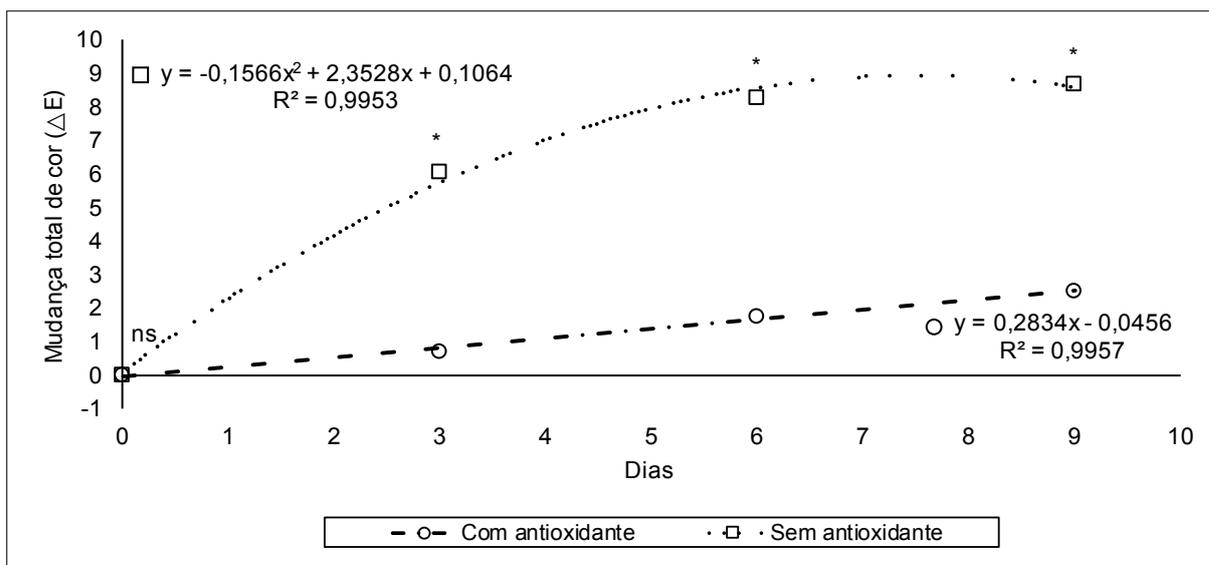
Figura 13. Escurecimento normalizado em oito cultivares de macieira minimamente processadas tratadas e não tratadas com o antioxidante eritorbato de sódio, depois de nove dias armazenadas ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2018/2019.



Letras minúsculas iguais nas barras escuras, letras minúsculas iguais nas barras claras e barras unidas com a mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Assim como o ângulo *hue* e o IE da polpa, a ΔE apresentou progressão linear nos frutos que receberam aplicação de ES e progressão quadrática nos frutos que não receberam o tratamento do antioxidante, sendo que, a ΔE nas maçãs sem o antioxidante foi maior em relação às maçãs com antioxidante, já a partir da primeira data de avaliação (Figura 14).

Figura 14. Variação da mudança total de cor (valores médios de oito cultivares de maçãs minimamente processadas) em função do tempo de armazenamento ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$), após o tratamento com e sem o antioxidante eritorbato de sódio. Safra 2018/2019.

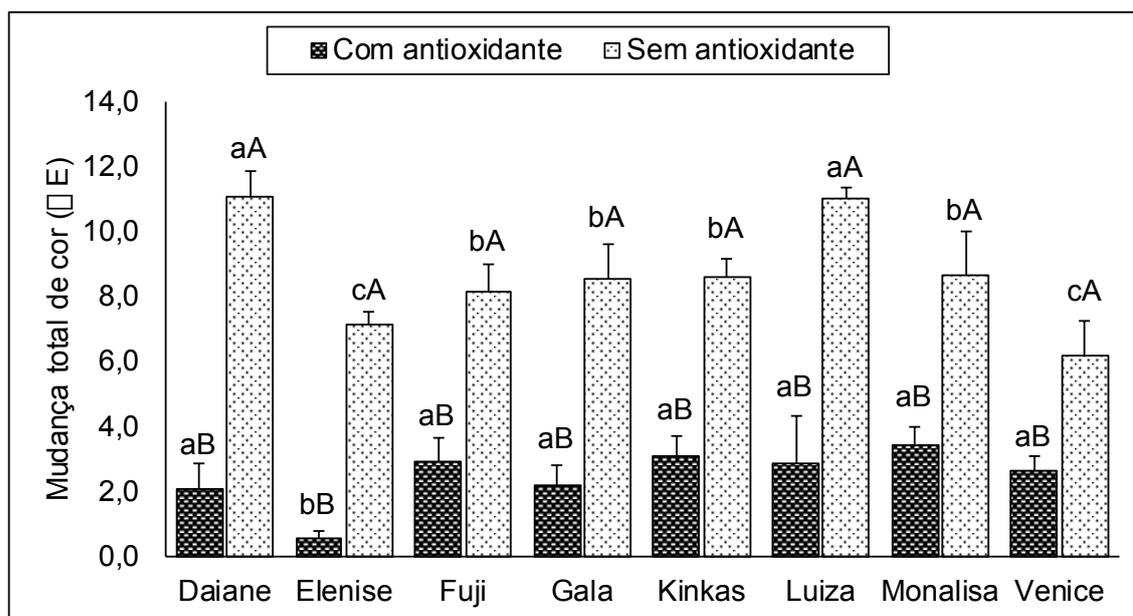


Nota: ns: não significativo; * significativo a 5%.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Em relação à ΔE após nove dias de armazenamento, novamente, todas as cultivares sem aplicação de ES apresentaram maior variação em comparação aos frutos que receberam o tratamento com o antioxidante (Figura 15). Nestes frutos, tratados com o ES, a cv. Elenise apresentou menor ΔE , em relação às demais cultivares. Já nos frutos sem o antioxidante, a cultivar Venice não diferiu da 'Elenise', como as cultivares com menor ΔE , enquanto as cultivares Daiane e Luiza foram as que apresentaram maior variação de cor. Destaque como umas das cultivares com menor IE, juntamente com 'Elenise' e 'Venice', a cv. Fuji Mishima apresentou ΔE superior a estas. A avaliação do escurecimento na polpa das maçãs MP é bastante complexa, uma vez que diversos atributos interferem na percepção de cor julgada pelo consumidor (SUBHASHREE et al., 2017). Além disso, a distribuição desigual de PPO e substratos fenólicos nas maçãs pode resultar em escurecimento desigual na superfície cortada. Duangmal et al. (2017) encontraram quantidades de fenólicos bem como atividade específica da enzima PPO em níveis diferentes, em diferentes porções do fruto. Desta maneira, é importante ponderar todas as variáveis possíveis com relação à cor, a fim de obter uma análise mais crítica dos resultados.

Figura 15. Mudança total de cor em oito cultivares de maçã minimamente processadas tratadas e não tratadas com o antioxidante eritorbato de sódio, depois de nove dias armazenadas ($5 \pm 0,5$ °C e UR de $80 \pm 8\%$). Safra 2018/2019.



Letras minúsculas iguais nas barras escuras, letras minúsculas iguais nas barras claras e barras unidas com a mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

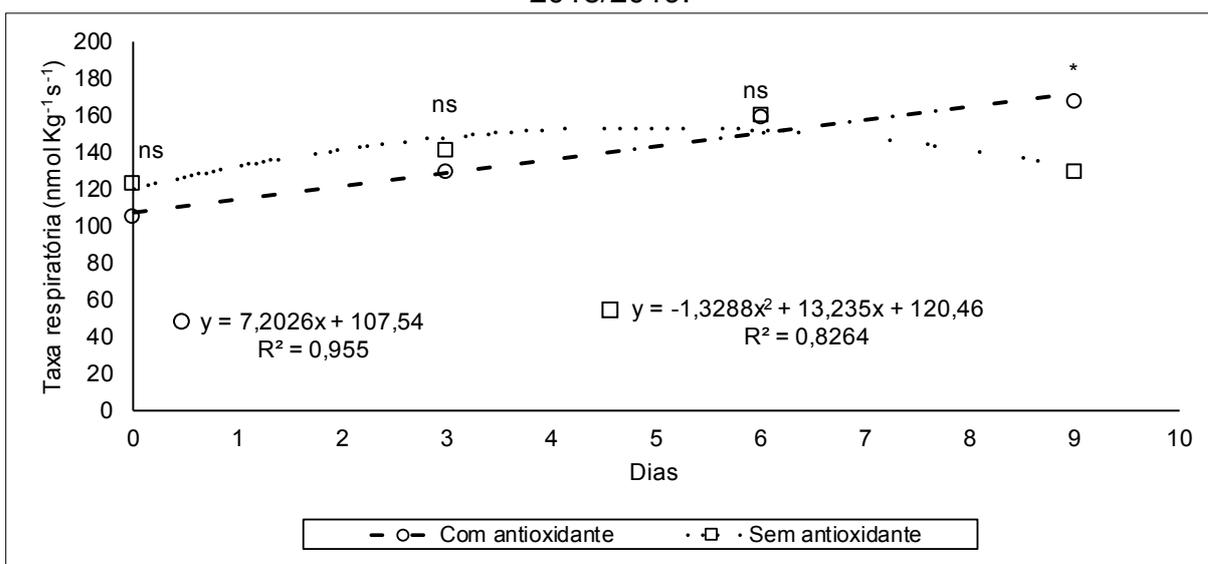
Três cultivares se destacaram após considerar os atributos de cor avaliados. ‘Elenise’, ‘Venice’ e ‘Fuji Mishima’ apresentaram menor escurecimento da polpa e menores variações de cor na polpa, mesmo sem a presença do antioxidante ES. Tappi et al. (2019) destacam que atributos como o perfil fenólico diferente, tanto em termos quantitativos quanto qualitativos das cultivares podem influenciar no fenômeno de escurecimento mais notável. Todavia, mesmo com o menor escurecimento da polpa destas cultivares, o emprego de antioxidantes parece ser necessário para manter a qualidade dos frutos processados por períodos mais longos. Contudo, é importante considerar que cultivares menos suscetíveis ao escurecimento podem responder melhor à aplicação dos antioxidantes, bem como possibilitar a redução da dose aplicada em comparação a cultivares com maiores níveis de escurecimento.

A taxa respiratória e a produção de etileno apresentaram interações significativas entre os fatores “tratamento antioxidante” e “tempo de armazenamento” e entre os fatores “cultivar” e “tratamento antioxidante”. A respiração é um processo metabólico que fornece energia para os processos bioquímicos da planta. Vários substratos utilizados em importantes vias metabólicas são formados durante a respiração (FONSECA; OLIVEIRA; BRECHT, 2002). As substâncias que possivelmente tomam parte ativa nesse processo são proteínas, glicídeos, lipídeos, ácidos orgânicos, vitaminas, minerais e alguns componentes da parede celular, como hemiceluloses e pectinas. A respiração resulta em modificações profundas desses

constituintes, que podem ser altamente indesejáveis sob ponto de vista da qualidade (CHITARRA; CHITARRA, 2005). A atividade respiratória de produtos MP é alta, e está diretamente relacionada com o tipo de produto, corte e temperatura de armazenamento (LEE et al., 2003). Segundo Fagundes, Carciofi e Monteiro (2013), a temperatura foi identificada como o fator externo mais importante que influencia a respiração.

A taxa respiratória nas maçãs com o tratamento de ES apresentou crescimento linear ao longo do período de armazenamento, sendo que, aos nove dias de armazenamento, estes frutos apresentaram uma taxa respiratória maior do que os frutos que não receberam o tratamento com antioxidante (Figura 16). Já a taxa respiratória das maçãs sem o tratamento com ES apresentou uma progressão quadrática, sendo que a partir dos seis dias de armazenamento os frutos apresentaram uma redução da respiração. Avaliando a influência de diferentes cultivares e soluções que previnem o escurecimento em maçãs MP, Putnik et al. (2016) verificaram que a produção de CO₂ oscilou juntamente com a mudança de cor para todas as cultivares com diferentes tratamentos, de forma semelhante ao que ocorreu neste estudo.

Figura 16. Variação da taxa respiratória (valores médios de oito cultivares de maçãs minimamente processadas) em função do tempo de armazenamento (5±0,5 °C e UR de 80±8%), após o tratamento com e sem o antioxidante eritorbato de sódio. Safra 2018/2019.

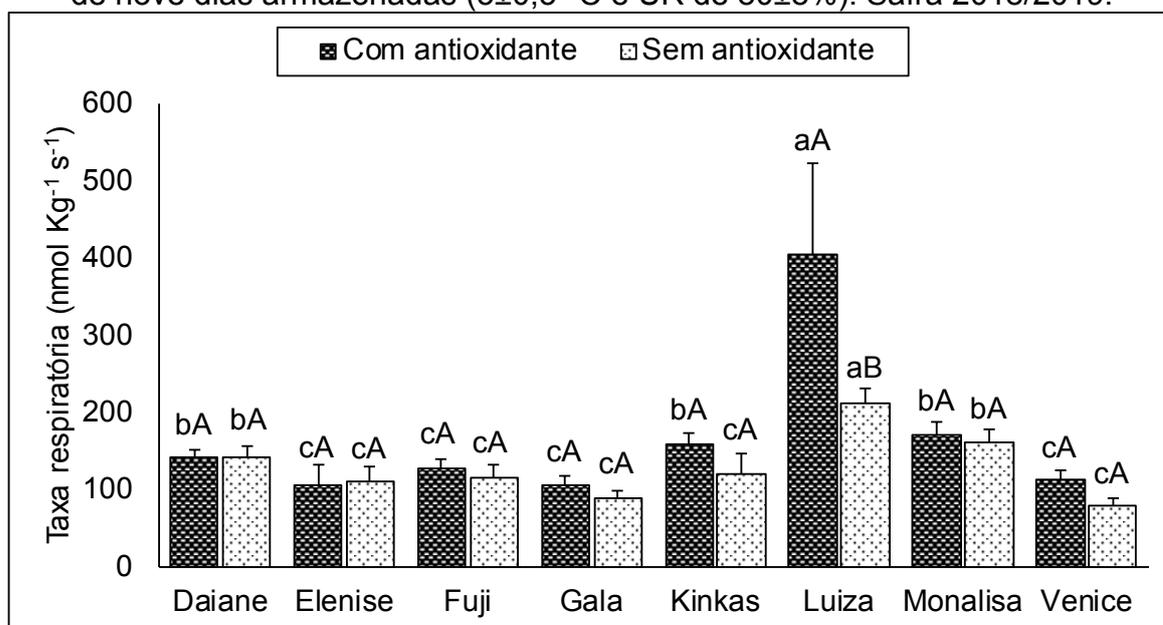


ns: não significativo; * significativo a 5%.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Aos nove dias de armazenamento, a maioria das cultivares, cujos frutos receberam aplicação de ES, tenderam a apresentar maior taxa respiratória em comparação aos frutos que não receberam aplicação do antioxidante, contribuindo para que a taxa respiratória média nos frutos com antioxidantes fosse maior do que nos frutos sem a aplicação, neste intervalo. Todavia, apenas a cultivar Luiza apresentou taxa respiratória maior com o tratamento de ES aos nove dias de armazenamento (Figura 17). A cultivar Luiza apresentou ainda as maiores taxas respiratórias, tanto entre as maçãs com o tratamento de ES, quanto nos frutos sem o tratamento. Nas maçãs sem a aplicação do antioxidante, as cultivares Elenise, Fuji, Mishima, Maxi Gala, Kinkas e Venice apresentaram as menores taxas respiratórias. Para os frutos que receberam a aplicação do antioxidante, as cultivares Elenise, Fuji, Mishima, Maxi Gala e Venice apresentaram as menores taxas respiratórias. De maneira geral, as taxas mais altas de respiração indicam metabolismo e deterioração mais rápidos (VENTURA-AGUILAR et al., 2017). Assim, a respiração pode ser um parâmetro chave para otimizar os tratamentos pós-colheita (KADER 2010; RUX et al., 2017).

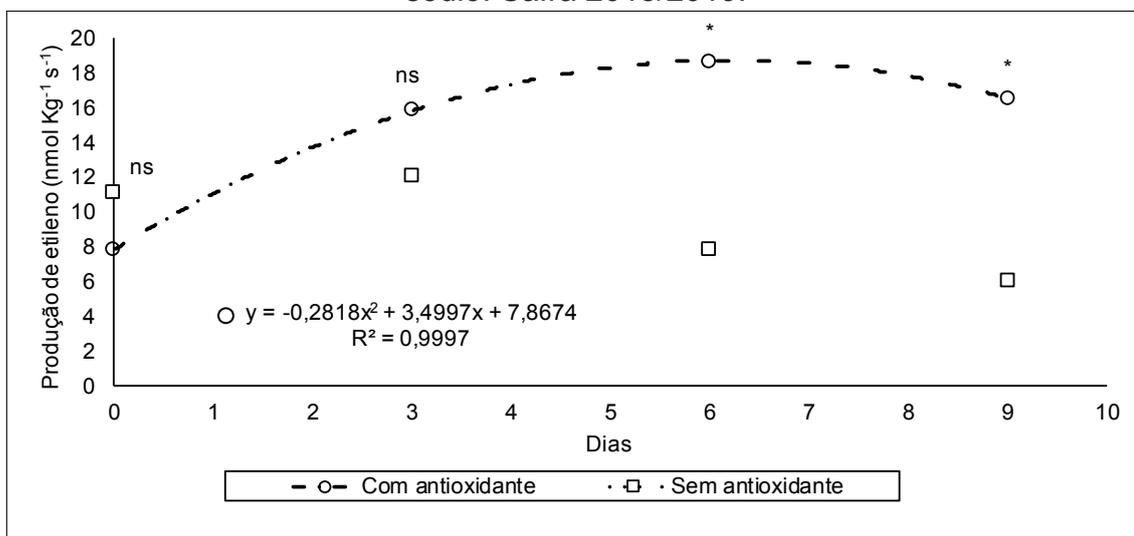
Figura 17. Taxa respiratória em oito cultivares de macieira minimamente processadas tratadas e não tratadas com o antioxidante eritorbato de sódio, depois de nove dias armazenadas ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2018/2019.



Letras minúsculas iguais nas barras escuras, letras minúsculas iguais nas barras claras e barras unidas com a mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

As maçãs MP sem o tratamento de ES não apresentaram diferenças na produção de etileno ao longo do tempo de armazenamento (Figura 18). Já as maçãs com o tratamento do antioxidante apresentaram uma progressão quadrática, com produção de etileno crescente até os seis dias de armazenamento. Após esse período, a produção de etileno reduziu, no entanto, manteve-se maior em relação aos frutos que não receberam a aplicação do antioxidante. As primeiras respostas dos produtos MP ao fermento incluem aumento tanto na respiração quanto na produção de etileno (MAHAJAN et al. 2014). Isso foi amplamente estudado para vegetais cortados, sendo que em cenouras MP, por exemplo, essas taxas podem aumentar até 3 vezes após o corte (IQBAL et al. 2009). No entanto, o aumento é momentâneo, principalmente devido à resposta inicial ao estresse, pois a atividade respiratória diminui para um valor de equilíbrio (FINNEGAN et al. 2013). A perda de reservas metabólicas nos frutos MP devido aos processos respiratórios significa a aceleração da senescência à medida que a ação do etileno também é aumentada (KADER; SALTVEIT 2003).

Figura 18. Variação da produção de etileno (valores médios de oito cultivares de maçãs minimamente processadas) em função do tempo de armazenamento ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$), após o tratamento com e sem o antioxidante eritorbato de sódio. Safra 2018/2019.



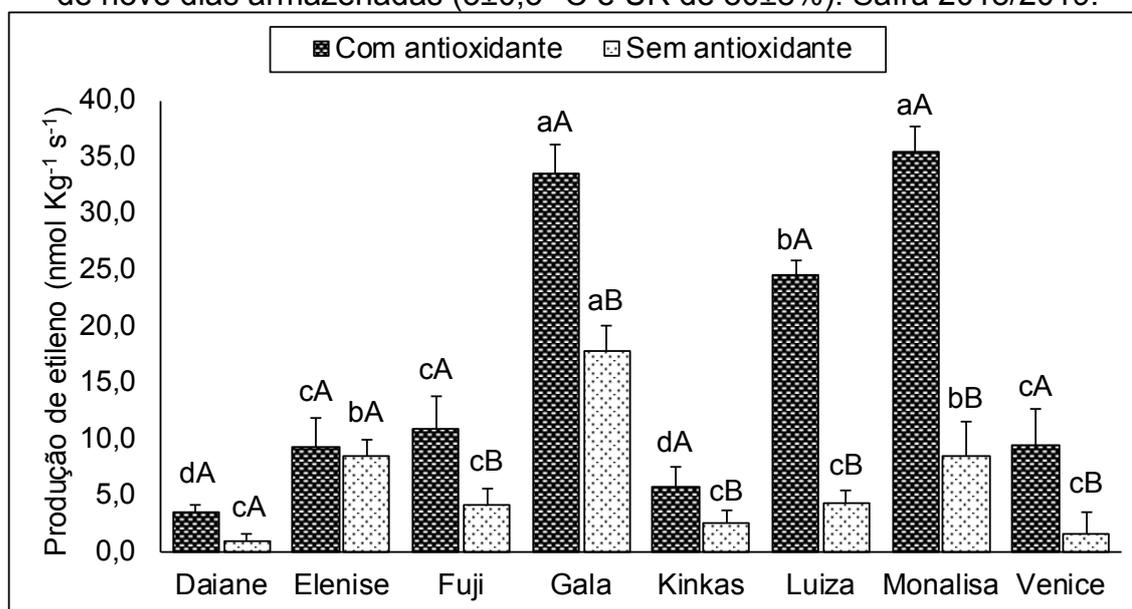
ns: não significativo; * significativo a 5%.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Aos nove dias de armazenamento, na maioria das cultivares, a produção de etileno foi maior nas maçãs MP com tratamento de ES em relação às sem antioxidante, sendo que, apenas nas cultivares Daiane e Elenise não ocorreram

diferenças (Figura 19). Dentre os frutos submetidos à aplicação do antioxidante, as cultivares Maxi Gala e Monalisa apresentaram as maiores produções de etileno, seguidas pela cultivar Luiza, enquanto as cultivares Daiane e Kinkas apresentaram as menores produções de etileno. Já nos frutos sem o tratamento de ES, a cultivar Maxi Gala apresentou a maior produção de etileno enquanto as cultivares Daiane, Fuji Mishima, Kinkas, Luiza e Venice apresentaram as menores produções. O etileno participa da regulação de diversos genes envolvidos com o processo de maturação de frutos. Alguns genes estão diretamente ligados à produção e atividade de enzimas como PPO e POD. Segundo Espley et al. (2019), no início de desenvolvimento dos frutos, as maçãs apresentam mais compostos fenólicos, porém pouca atividade PPO, enquanto ao final do ciclo, o etileno aumenta a produção e a atividade de PPO. Desta maneira, é possível que cultivares de maçãs com maiores taxas de produção de etileno, sejam mais propensas ao escurecimento enzimático, devido a uma maior produção e atividade de PPO.

Figura 19. Produção de etileno em oito cultivares de macieira minimamente processadas tratadas e não tratadas com o antioxidante eritorbato de sódio, depois de nove dias armazenadas ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2018/2019.



Letras minúsculas iguais nas barras escuras, letras minúsculas iguais nas barras claras e barras unidas com a mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Devido aos resultados pouco promissores em relação ao escurecimento da polpa das maçãs 'Daiane', 'Kinkas' e 'Monalisa', as demais variáveis analisadas (AAT, CFT, PPO, POD, SOD e AA) seguiram com a exclusão destas cultivares.

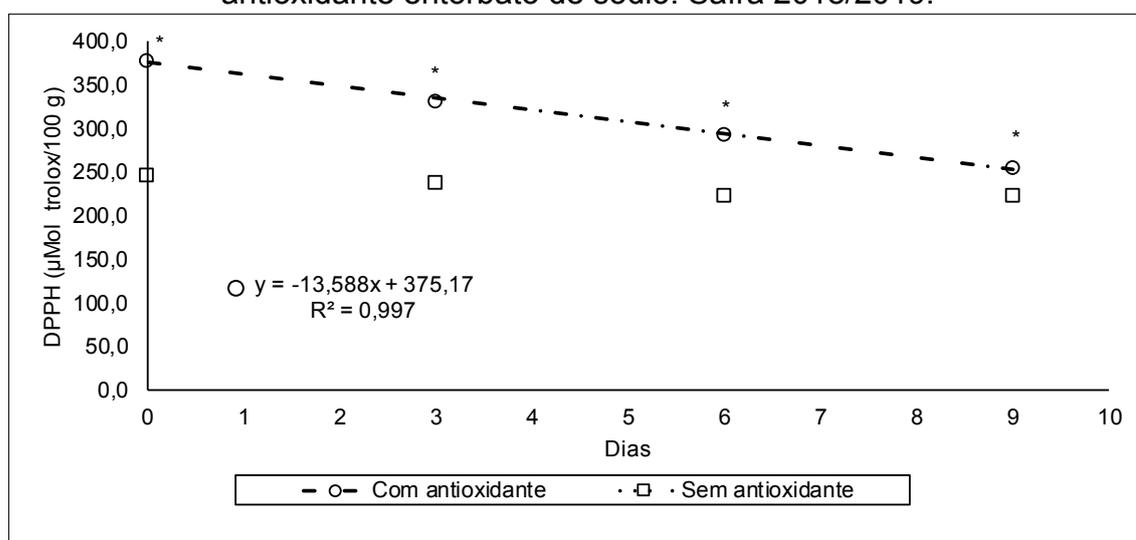
A AAT, pelo método DPPH, e o teor de CFT, das cultivares de maçãs MP avaliadas, apresentaram interações entre os fatores “tratamento antioxidante” e “tempo de armazenamento” e entre os fatores “cultivar” e “tratamento antioxidante”. Na maçã existem vários compostos fitoquímicos que podem atuar como antioxidantes. Dentre esses compostos, os mais encontrados são os polifenóis, vitamina C, carotenóides e tocoferóis (BOYER; LIU, 2004; SUN et al., 2011). Inúmeros autores relatam que a atividade antioxidante da maçã depende de sua composição fenólica de maneira qualitativa e quantitativa (CHINNICI et al., 2004; TSAO, 2005). Novas descobertas mostram que a atividade antioxidante da maçã não está apenas correlacionada com o teor de CFT, mas também depende da composição polifenólica (PIAGENTINI; PIROVANI, 2017). Nicoli et al. (1999) demonstraram que a AAT nem sempre teve um comportamento correlacionado aos teores de CFT, pois os compostos formados pela oxidação parcial de polifenóis possuem maior atividade sequestrante de radicais. Assim, uma diminuição nos teores de CFT pode corresponder a um aumento na AAT (COCCI et al., 2006).

Além da capacidade antioxidante, os compostos fenólicos também são responsáveis pelo sabor das maçãs (ZHANG et al., 2017). Além disso, eles têm funções biológicas, como propriedades imunomoduladoras e anti-inflamatórias em humanos e animais (ZHANG et al., 2017). Portanto, a preservação dessas propriedades é importante para manter a qualidade da fruta e, conseqüentemente, o benefício à saúde dos consumidores.

A AAT das maçãs MP, pelo método DPPH, apresentou uma redução linear ao longo do tempo de armazenamento para os frutos que receberam o tratamento de ES (Figura 20). Essas maçãs, com antioxidante, apresentaram maior AAT durante todas as avaliações em relação às maçãs sem o antioxidante. Esse resultado pode ser atribuído à capacidade do ES em impedir a oxidação (FIGUEIREDO et al., 2014); ou captura do oxigênio presente no meio por meio de reações químicas estáveis, impedindo que o oxigênio atue como propagador da auto oxidação ou como sinérgico na regeneração de antioxidantes primários (RAMALHO; JORGE, 2006). Cocci et al. (2006) também encontraram valores de AAT maiores para as amostras imersas em antioxidantes em comparação com as não imersas durante o período de armazenamento. Os autores observaram ainda que nessas amostras, com o passar do tempo de armazenamento, o comportamento da AAT foi de diminuir, atingindo níveis semelhantes aos das amostras não tratadas ao final do armazenamento

refrigerado, resultado semelhante ao observado neste estudo. Para as maçãs sem ES, a AAT não variou durante o tempo de armazenamento.

Figura 20. Variação da atividade antioxidante, método DPPH, (valores médios de cinco cultivares de maçãs minimamente processadas) em função do tempo de armazenamento ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$), após o tratamento com e sem o antioxidante eritorbato de sódio. Safra 2018/2019.

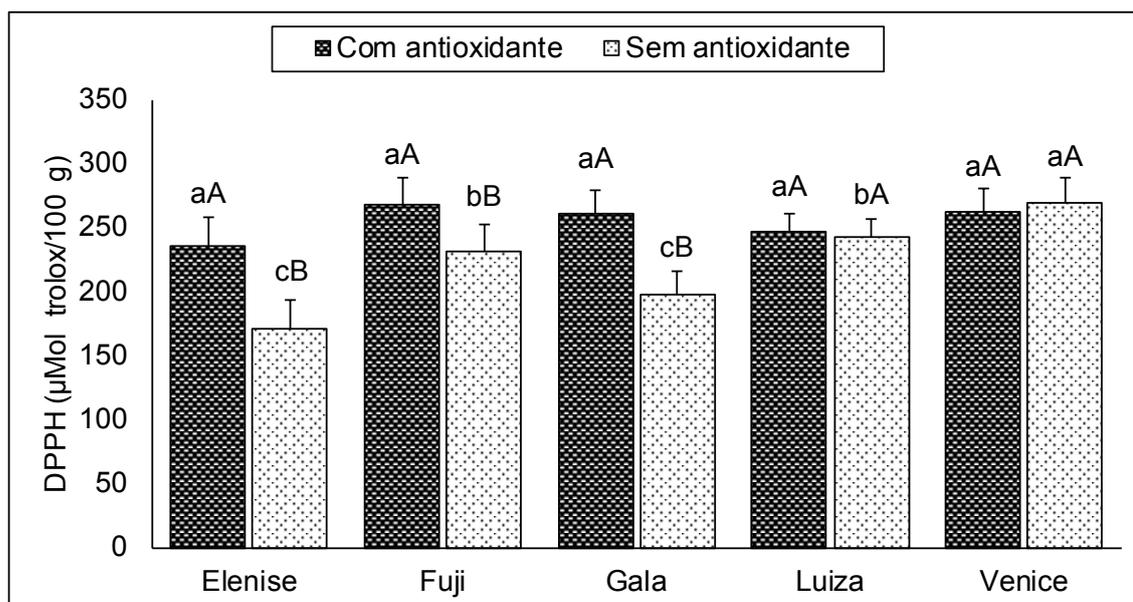


ns: não significativo; * significativo a 5%.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Nos nove dias de armazenamento, não ocorreu diferenças na AAT, pelo método DPPH, entre maçãs tratadas e não tratadas com ES, nas cultivares Luiza e Venice (Figura 21). Já nas cultivares Elenise, Fuji Mishima e Maxi Gala, a AAT foi maior nas maçãs que receberam a aplicação do ES. Entre as cultivares, quando estas receberam o tratamento de antioxidante, não ocorreu diferenças na AAT entre si. Todavia, quando não foi aplicado o ES, a cultivar Venice apresentou a maior AAT, enquanto as cultivares Elenise e Maxi Gala apresentaram as menores atividades antioxidantes. Drogoudi et al. (2008) relatam que cultivares de maçã que apresentam maior AAT adquirem coloração marrom mais rapidamente quando cortada em fatias, o que, segundo os autores, pode ser atribuído ao alto teor de compostos fenólicos que a mesma contém.

Figura 21. Atividade antioxidante, método DPPH, em cinco cultivares de macieira minimamente processadas tratadas e não tratadas com o antioxidante eritorbato de sódio, depois de nove dias armazenadas ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2018/2019.



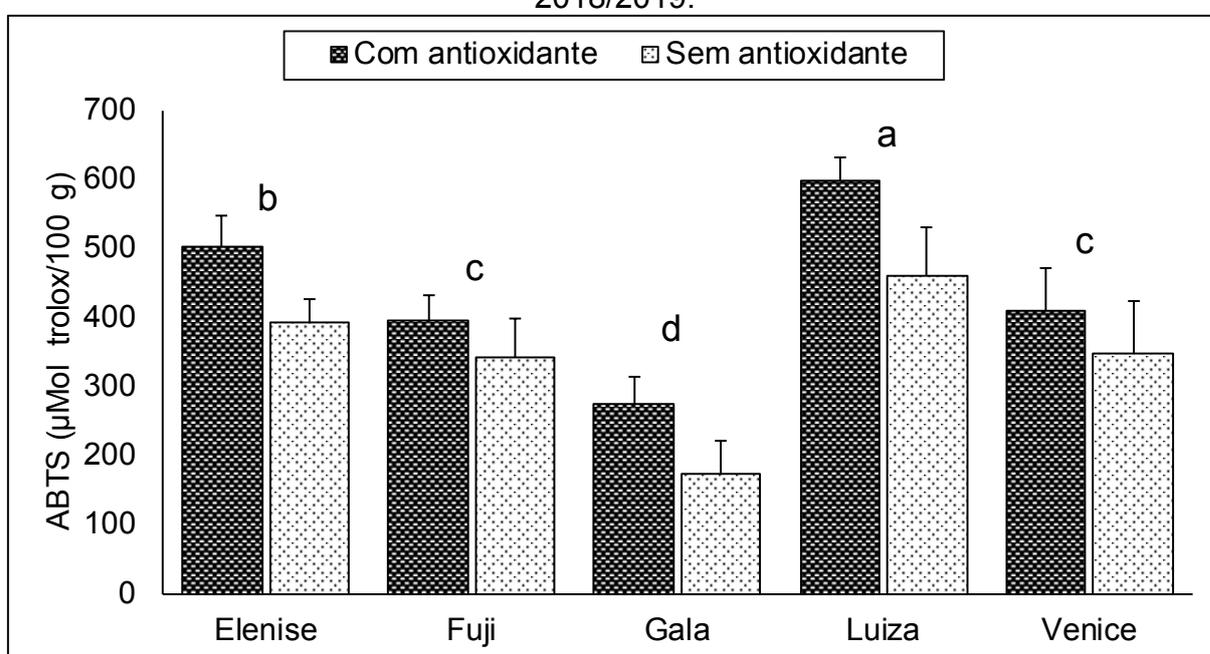
Letras minúsculas iguais nas barras escuras, letras minúsculas iguais nas barras claras e barras unidas com a mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Segundo De Martin et al. (2018), a cultivar Venice possui longa capacidade de conservação dos frutos e alta qualidade gustativa devido ao bom equilíbrio entre sólidos solúveis e acidez nos frutos. Nos experimentos avaliados, a ‘Venice’ apresentou também, menor escurecimento na polpa dos frutos. Além disso, esta cultivar manteve bons teores de SS e de AT após o processamento e apresentou alta AAT. O fato de a mesma apresentar alta AAT também pode estar relacionado à menor taxa de escurecimento dessa cultivar (ZHOU et al., 2020). Qi et al. (2019) concluem que o aumento na capacidade antioxidante melhora o metabolismo de espécies reativas de oxigênio (ERO) de frutas e vegetais MP, reduzindo assim as ERO nos tecidos e conseqüentemente o dano oxidativo resultante.

A AAT, pelo método ABTS, não apresentou interação entre os fatores “tratamento antioxidante” e “tempo de armazenamento”. Apenas o fator “tratamento antioxidante” apresentou efeito de forma isolada, onde as maçãs que receberam aplicação de ES apresentaram AAT cerca de 40% maior em relação às maçãs que não receberam tratamento (dados não apresentados). A adição de agentes antioxidantes tem sido amplamente praticada na fabricação de alimentos para inibir a oxidação e o escurecimento enzimático de frutas e vegetais. Os agentes antioxidantes são substâncias que podem proteger proteínas, lipídios e outras biomoléculas da oxidação, prevenindo assim a formação de cores e sabores estranhos em frutas e vegetais e, assim, aumentar sua vida útil (HAMDAN et al., 2022)

Pelo método ABTS, também não ocorreu interação significativa entre os fatores “cultivar” e “tratamento antioxidante”. A cultivar Luiza apresentou maior AAT em relação às demais, seguida pela ‘Elenise’, sendo que a cultivar ‘Maxi Gala’ apresentou a menor AAT pelo método ABTS (Figura 22). As propriedades antioxidantes estão muito relacionadas com a cultivar, com as condições de cultivo, como o ambiente e técnicas de manejo, além do grau de maturação na colheita (CASTREJON et al., 2008; STANGER et al., 2017; STANGER et al., 2018).

Figura 22. Atividade antioxidante, método ABTS, em cinco cultivares de macieira minimamente processadas tratadas e não tratadas com o antioxidante eritorbato de sódio, depois de nove dias armazenadas ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2018/2019.



Letras minúsculas iguais nas barras escuras, letras minúsculas iguais nas barras claras e barras unidas com a mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

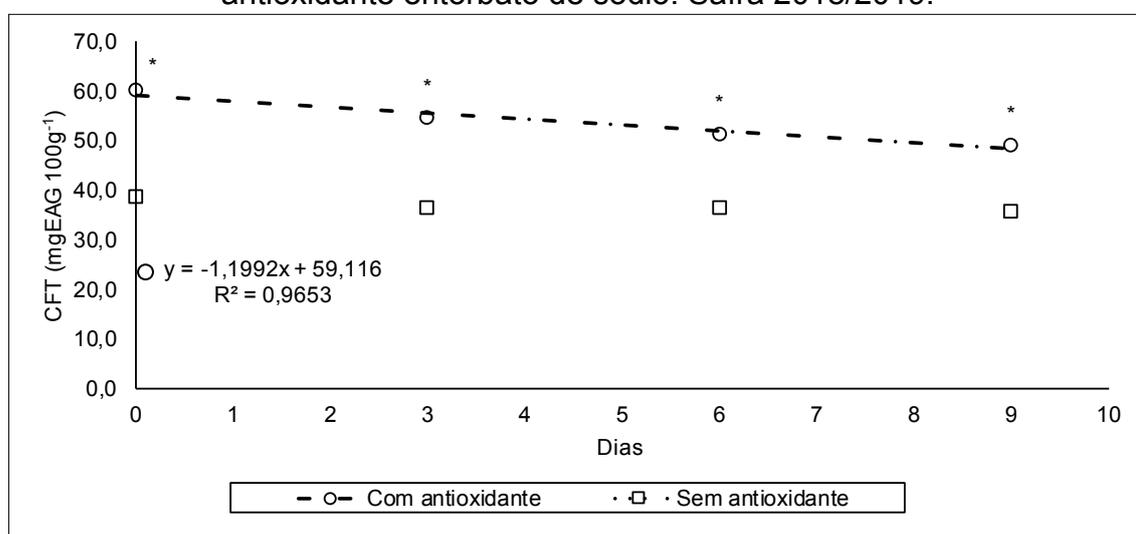
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Assim como a AAT pelo método DPPH, os frutos que receberam o tratamento de ES apresentaram maior conteúdo de CFT durante todas as avaliações em relação aos frutos sem o antioxidante (Figura 23). O aumento da AAT nas maçãs com o ES pode ser atribuído à preservação dos polifenóis nestes frutos. As maçãs contêm grandes quantidades de compostos fenólicos endógenos com propriedades antioxidantes (KIM et al., 2017), além de AA. Entretanto, a carga antioxidante pode ser complementada pela imersão da fruta MP em soluções contendo antioxidantes exógenos (AGUAYO et al., 2010). Este processo visa interferir nas reações de oxidação após o processamento, preservando compostos fenólicos endógenos e AA.

A aplicação de ES manteve as concentrações de compostos fenólicos na polpa de maçãs MP no estudo de Ribeiro et al. (2019a).

Frutos com ES apresentaram uma redução linear do conteúdo de CFT ao longo do tempo de armazenamento, enquanto os frutos sem o antioxidante não apresentaram variações na composição de CFT durante o tempo de armazenamento (Figura 23). Holderbaum et al. (2010) também observaram essa tendência de diminuição do teor de fenólicos totais ao longo do período de armazenamento das maçãs, em todas as cultivares que avaliaram. Essa tendência de redução nos CFT ocorre, provavelmente, pela oxidação desses compostos pelas PPO, uma vez que os compostos fenólicos são substratos da PPO na reação de escurecimento enzimático (RODRÍGUEZ-ARZUAGA; RIOS; PIAGENTINI, 2019). Segundo Tang et al. (2020), os polifenóis são as substâncias básicas para o escurecimento e, devido ao seu alto conteúdo fenólico, a maçã, é altamente suscetível ao escurecimento (HOLDERBAUM et al., 2010). A oxidação de fenóis, além de causar escurecimento, também pode resultar em perda de qualidade nutricional e proporcionar modificações de sabor (ESPLEY et al., 2019). Todavia, as maçãs com ES, parecem fornecer algum composto para essa oxidação. Por isso, há um gasto significativo de CFT apenas nos frutos tratado com ES, e aparentemente, é o que mantém os atributos de cor na polpa destas maçãs.

Figura 23. Variação de compostos fenólicos totais (valores médios de cinco cultivares de maçãs minimamente processadas) em função do tempo de armazenamento ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$), após o tratamento com e sem o antioxidante eritorbato de sódio. Safra 2018/2019.



ns: não significativo; * significativo a 5%.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Segundo Son et al. (2001), a intensidade da cor marrom, resultante da atividade da PPO, depende do tipo de compostos fenólicos envolvidos. A complexidade química e as variações do perfil fenólico da maçã são influenciadas pelo período de crescimento, ciclo agrícola, localização geográfica e, principalmente, pela variação genética (WOJDYŁO; OSZMIANSKI, 2020). O ácido clorogênico e a epicatequina foram relatados como os principais fenólicos em várias cultivares de maçã (COSETENG; LEE, 1987; PODSEDEK et al., 2000; STANGER et al., 2017; STANGER et al., 2018). Holderbaum et al. (2010) identificaram o ácido clorogênico como o principal fenólico em 'Fuji'. No entanto, neste mesmo estudo, os autores identificaram na maçã 'Elstar', a epicatequina como o principal fenólico, indicando que a composição fenólica é dependente da cultivar (DUANGMAL et al. 2017). Em maçãs, há uma oxidação mais rápida das catequinas do que do ácido clorogênico, contudo, como este composto se encontra em maiores concentrações na fruta do que a catequina, o seu efeito na reação de escurecimento enzimático é mais relevante (GOUPY et al., 1995; ROCHA; MORAIS, 2003). Além disso, os ácidos clorogênicos, a catequina e a epicatequina são conhecidos por serem os principais substratos para o PPO, e sua forma oxidada favorece a oxidação de outros compostos fenólicos (YOKOTANI et al. 2017). Estes fenóis quando oxidados, geram compostos que são altamente reativos com os demais polifenóis, as quinonas. Estas se ligam quimicamente às procianidinas e ocorre uma reação em cadeia de oxidação da maioria dos compostos fenólicos (LIU et al., 2010). Suzuki, Oliveira e Franca (2021) relataram também que cianidina-3-O-xilosídeo, cianidina arabinosídeo, cianidina 3-O-galactosídeo, cianidina 3-O-glicosídeo, cianidina 3,5-O-diglicosídeo foram significativamente maiores em maçãs de cultivares que escureceram rápido, indicando que existem mais compostos fenólicos ligados ao escurecimento da polpa de maçãs.

Os compostos fenólicos atuam como fortes modificadores da atividade enzimática das maçãs, tanto no que diz respeito à estimulação quanto à inibição (SERRA et al., 2021). Por exemplo, procianidinas polimerizadas demonstraram um efeito inibitório na atividade de PPO (LE BOURVELLEC et al., 2004). Portanto, em cada cultivar de maçã, a composição fenólica distinta e a atividade de várias enzimas são críticas para o entendimento do escurecimento da polpa, pois cada uma pode influenciar o potencial deste (SERRA et al., 2021). Vrhovsek et al. (2004) estudando oito cultivares de macieira, verificaram que os flavanóis compreendiam 93% do teor

de CFT em 'Granny Smith' (o mais alto entre todas as cultivares). Para estes autores, esta alta abundância de flavanóis, especialmente as proantocianidinas, pode ser a razão pela qual 'Granny Smith' escurece menos, pois as proantocianidinas demonstram forte inibição da atividade da PPO (LE BOURVELLEC et al., 2004; SERRA et al., 2021).

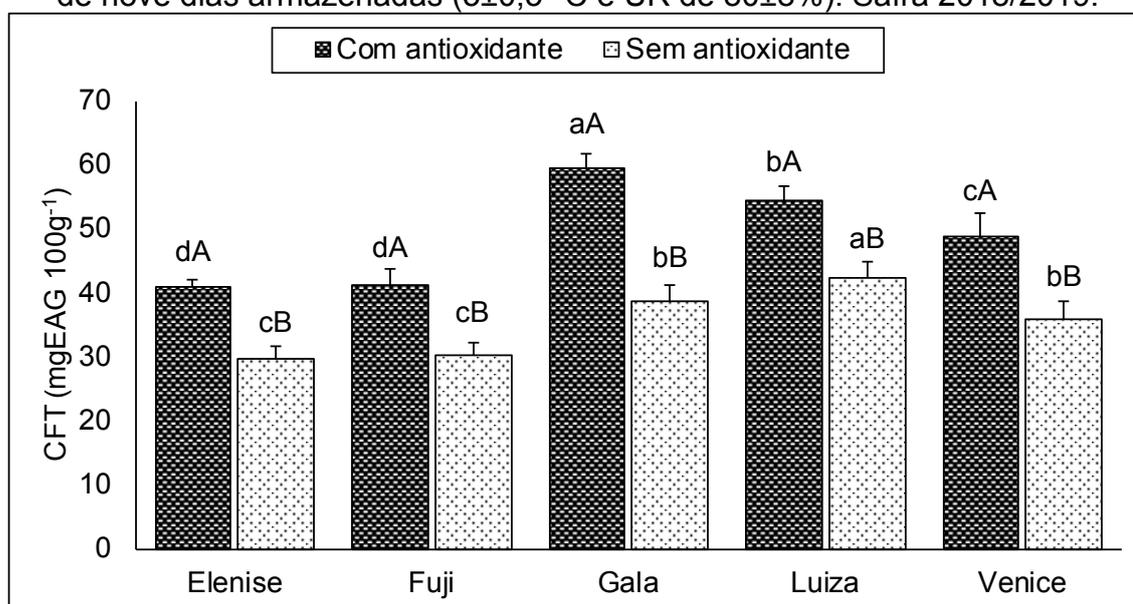
. Os compostos fenólicos presentes em maçãs derivados de ácidos cinâmicos, como o ácido cafeico, ferúlico e cumárico, apresentam um alto potencial antioxidante. Estes são eficientes na inibição ou delonga das reações de escurecimento enzimático, pois possuem elevada capacidade em doar elétrons e também quelar os íons metálicos das estruturas enzimáticas (LIN et al., 1998). Segundo Silva, Rosa e Vilas Boas (2009), alguns difenóis, como o resorcinol, raramente são utilizados como substratos da PPO e alguns exercem, inclusive, efeito inibitório.

Aos nove dias de armazenamento, o conteúdo de CFT foi maior nas maçãs MP que receberam o tratamento de ES em relação às que não receberam, para todas as cultivares avaliadas (Figura 24). Isso ocorre porque o ES, juntamente com seus estereoisômeros, limita a produção de quinonas (GRANT-PREECE et al., 2013), eliminando o oxigênio do tecido antes de reagir com os compostos fenólicos (CLARK et al., 2009), garantindo também, menor escurecimento na polpa destes frutos. Moreno et al. (2016) perceberam que quando utilizavam antioxidantes, a cor da polpa preservava-se mais clara e os níveis de compostos fenólicos permaneciam mais altos, possivelmente devido a não utilização dos mesmos como substrato pela PPO.

A cultivar Luiza apresentou o maior conteúdo de compostos fenólicos totais entre as maçãs sem a aplicação de ES (Figura 24). Já nas maçãs que receberam o tratamento do antioxidante, o conteúdo de CFT foi maior na cultivar Maxi Gala, seguido pela cultivar Luiza. Tanto nos frutos com o antioxidante, quanto nos frutos sem o antioxidante, as cultivares Elenise e Fuji Mishima apresentaram os menores conteúdos de CFT. A magnitude da relação entre o escurecimento enzimático, o CFT e a atividade da PPO é específica do genótipo (HOLDERBAUM et al., 2010). Embora os resultados corroborem com a maioria dos autores, que relatam correlação entre os elevados teores de CFT e o maior escurecimento enzimático (DEUTCH, 2018), correlações fracas foram registradas entre atividade enzimática e mudança de cor nos trabalhos realizados por Persic et al. (2017), bem como com nenhuma correlação entre CFT e ΔE , sugerindo que pode haver outros mecanismos envolvidos com a oxidação da polpa e mudanças de cor. Tang et al. (2020) recentemente demonstraram

escurecimento não relacionado à atividade de PPO em 'Fuji', destacando vias oxidativas alternativas envolvidas no escurecimento da maçã. Estes autores descobriram que o hiperosídeo foi correlacionado negativamente com o IE em maçã, indicando um papel fundamental deste composto fenólico na inibição do escurecimento. Tang et al. (2020) relataram ainda, que o hiperosídeo pode ser um polifenol chave que pode inibir o escurecimento de maçãs, já que em seu estudo este composto ajudou a retardar a ocorrência do escurecimento na polpa de maçãs. O hiperosídeo é o principal composto de glicosídeos de quercetina em maçãs (RAUDONE et al., 2017; KSCHONSEK et al., 2018); no entanto, não existem pesquisas suficientes que esclareçam sua função e via metabólica. Num estudo recente, Fang et al. (2022), verificaram que dez metabólitos fenólicos contendo cinco glicosídeos de cianidina apresentaram diferenças significativas entre um grupo de cultivares que tiveram maior escurecimento da polpa e outro grupo com menor taxa de escurecimento. Estes autores concluem que esses fenóis são cruciais no escurecimento não relacionado à PPO.

Figura 24. Compostos fenólicos totais em cinco cultivares de macieira minimamente processadas tratadas e não tratadas com o antioxidante eritorbato de sódio, depois de nove dias armazenadas ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2018/2019.



Letras minúsculas iguais nas barras escuras, letras minúsculas iguais nas barras claras e barras unidas com a mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

O efeito dos CFT é ambíguo, pois alguns polifenóis podem apresentar atividade antioxidante, preservando as membranas na célula e evitando o escurecimento na

polpa das maçãs, enquanto outros são o substrato utilizado pela PPO nas reações que ocasionam o escurecimento. Desta maneira, os CFT podem não apresentar relação clara com o escurecimento da polpa das maçãs e é muito importante a avaliação qualitativa, através dos perfis de compostos fenólicos, para identificar quais estariam mais associados ao escurecimento e/ou sua inibição (TAPPI et al., 2019). O fato da AAT não apresentar um comportamento semelhante ao dos CFT nas diferentes cultivares, também pode ser um indício de que existem outras substâncias contribuindo para diferenças na atividade antioxidante dos frutos, como a atividade de enzimas e os teores de AA.

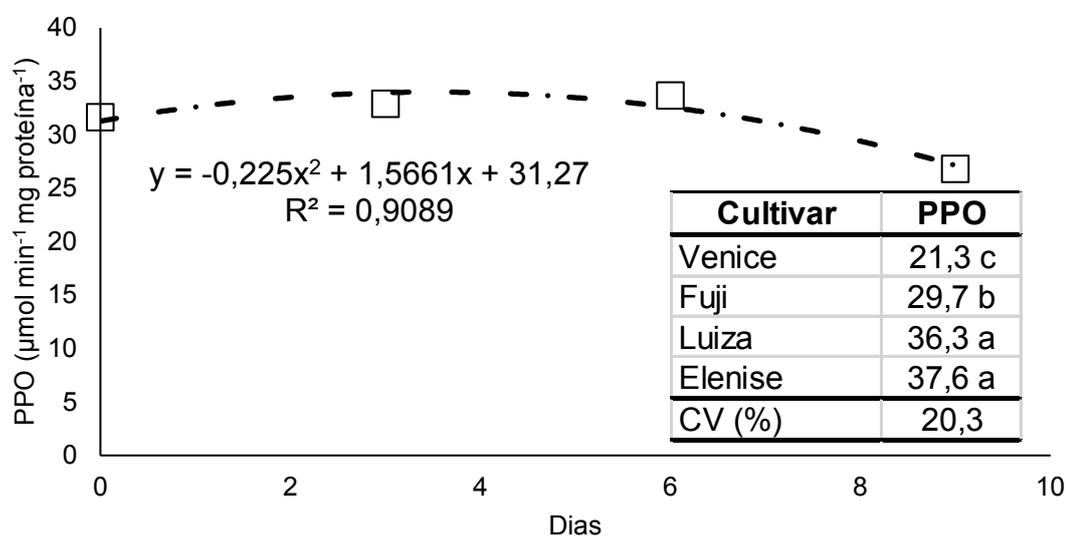
Amiot et al. (1992) estudaram a suscetibilidade ao escurecimento de 11 cultivares de maçã. Eles relataram que o grau de escurecimento estava relacionado; primeiro à quantidade de fenóis e depois à atividade da PPO. Estes autores concluíram que um melhor controle do escurecimento provavelmente consiste na utilização de cultivares com um baixo conteúdo de ácido clorogênico e flavanóis e uma baixa atividade de PPO.

A atividade da enzima PPO apresentou uma regressão quadrática em função do tempo de armazenamento, com um leve aumento nos primeiros dias seguido de declínio da sua atividade (Figura 25). Jeong et al. (2008), trabalhando com maçãs 'Fuji' armazenadas a 4 °C, observaram um aumento da atividade enzimática até o terceiro dia de armazenamento, seguido de um decréscimo da atividade, depois deste período. Segundo Le Bourvellec et al. (2004), os produtos da oxidação dos fenóis atuam como inibidores da PPO, ou seja, a formação do escurecimento da polpa das maçãs faz com que a atividade da enzima PPO seja reduzida. Para Murata et al. (1995), a atividade da PPO diminui devido a uma desnaturação da proteína e não à redução da produção de PPO.

O fator "tratamento" não foi significativo, e as maçãs da cultivar Venice foram as que apresentaram menor atividade de PPO, seguidas pelas maçãs 'Fuji Mishima' (Figura 25). Martín et al. (2011) e Piagentini e Pirovani (2017), estudaram a atividade da PPO de diferentes cultivares de maçãs e concluíram que as cultivares com maior teor de CFT e maior atividade da PPO foram as que apresentaram maior desenvolvimento de escurecimento da polpa. Esses resultados se assemelham para a cultivar Luiza, que apresentou maior teor de CFT e atividade de PPO, assim como elevado escurecimento da polpa. Assim como a 'Luiza', a cultivar Elenise apresentou alta atividade da PPO. No entanto, os teores de CFT desta cultivar foram baixos, o

que pode explicar o baixo escurecimento da polpa. Holderbaum et al. (2010) encontraram correlações positivas entre atividade de PPO e escurecimento enzimático (ΔE) na polpa de 'Aori27' e 'Elstar', mas não na polpa de 'Fuji' e 'Mellow'. Murata et al. (1995) encontraram uma correlação positiva entre o teor de CFT e escurecimento enzimático, mas não entre atividade de PPO e escurecimento enzimático, para um grupo de cultivares de maçã. Coseteng e Lee (1987) não encontraram correlação entre CFT ou PPO e escurecimento enzimático em sete cultivares de maçãs. Esses resultados reforçam a noção de que a dinâmica da atividade da PPO, o teor de CFT e o escurecimento da polpa das maçãs são uma variável genótipo-dependente. Além disso, o papel da atividade da PPO no escurecimento de algumas cultivares revela resultados controversos e pode depender do nível de maturação do fruto e da região de cultivo ou mesmo de outras rotas oxidativas ou não oxidativas envolvidas no escurecimento da polpa de maçãs, conforme relatado anteriormente (FANG et al., 2022).

Figura 25. Atividade da enzima PPO em quatro cultivares de macieira minimamente processadas em função do tempo de armazenamento ($5 \pm 0,5$ °C e UR de $80 \pm 8\%$), após o tratamento de eritorbato de sódio. Safra 2018/2019.



Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

A atividade da PPO e o escurecimento enzimático parecem depender do grau de polimerização dos compostos fenólicos usados como substratos (PERISIC et al., 2017). Em outras palavras, compostos monoméricos menores e de menor peso

molecular, como a catequina e os ácidos hidroxicinâmicos (por exemplo, ácido p-cumárico e ácido clorogênico), parecem servir como substrato mais eficiente para PPO (WEAVER et al., 2014). A PPO é capaz de catalisar a oxidação de diferentes substratos fenólicos, mas a atividade varia de acordo com a especificidade do substrato (RODRÍGUEZ-ARZUAGA; RIOS; PIAGENTINI, 2019). Segundo Silva, Rosa e Vilas Boas (2009), todas as PPO oxidam os difenóis, mas algumas podem não ter atividade cresolase ou monoxigenase (não são capazes de hidroxilar monofenóis). Assim, é necessária uma caracterização aprofundada e compreensão melhor da polimerização dos compostos fenólicos para investigar os fenômenos de escurecimento de forma mais eficaz (SERRA et al., 2021).

Para Serra et al. (2021), a quantificação da atividade enzimática de PPO e concentração fenólica não é suficiente para prever o escurecimento. Em vez disso, é necessária uma compreensão abrangente da composição dos compostos fenólicos, pois estes são fortes “manipuladores” da atividade enzimática, seja na inibição ou promoção (DEVIC et al., 2010). Entretanto, o genoma totalmente sequenciado de 'Golden Delicious' revelou que a PPO é codificada em 10 genes distribuídos entre três cromossomos (VELASCO et al., 2010). Isso levou ao desenvolvimento de maçãs geneticamente modificadas, que não apresentam escurecimento da polpa, conhecidas como a série Arctic[®], que têm os genes responsáveis pela expressão de PPO interrompidos (XU, 2013). Essas maçãs transgênicas têm atividade de PPO reduzida em 90% no momento da colheita e escurecimento da polpa bastante suprimido em comparação com suas respectivas cultivares originais (TAZAWA et al., 2019).

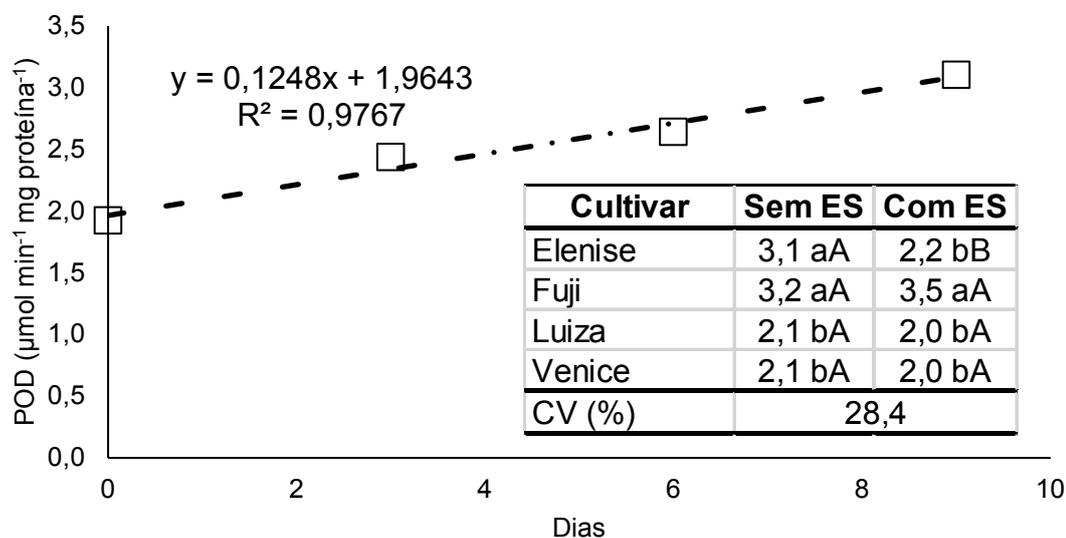
A oxidação da PPO gera ERO, principalmente H_2O_2 , em diferentes quantidades dependendo da composição fenólica, e este H_2O_2 pode oxidar ainda mais os fenólicos e aumentar o escurecimento enzimático (SUZUKI; OLIVEIRA; FRANCA, 2021). Além disso, na presença de H_2O_2 , a enzima POD pode participar da oxidação fenólica, com a função de ser doador de prótons durante o processo denominado peroxidação (HAMDAN et al., 2022). As POD pertencem à família das oxidoredutases, que na presença de H_2O_2 , catalisam a oxidação dos resíduos de tirosina e, novamente, induzem a melanina (TOMÁS-BARBERÁN; ESPÍN, 2001). Essa enzima também está envolvida nas últimas etapas da biossíntese da lignina e nos mecanismos de defesa contra patógenos e microrganismos (VALENTINES et al., 2005; SERRA et al., 2021). A contribuição da POD para o escurecimento enzimático é menor, uma vez que atua

na presença de H_2O_2 , cuja concentração é baixa nas maçãs (MISHRA; GAUTAM; SHARMA, 2013). Assim, seu envolvimento é mais plausível em processos lentos como o escurecimento interno de frutas inteiras (SILVA; ROSA; VILAS BOAS, 2009).

A atividade da enzima POD teve um crescimento linear em função do tempo de armazenamento (Figura 26). Esta enzima oxidativa atua conduzindo a oxidação de um único elétron em uma ampla variedade de compostos. A POD reduz o H_2O_2 a água enquanto oxida uma variedade de substratos (HIRAGA et al., 2001). Devido a isso, um pequeno intervalo de tempo é necessário para a reação ocorrer, o que a difere da PPO que oxida os substratos fenólicos imediatamente (FERNÁNDEZ-TRUJILLO et al., 2003). No entanto, a POD tem um aumento da sua solubilidade e atividade durante o período de maturação do fruto, elevando a concentração desta enzima no período pós-climatérico (VALDERRAMA et al., 2001).

Não houve diferenças na atividade da POD entre maçãs tratadas e não tratadas com ES, à exceção da cv. Elenise, onde maçãs sem o antioxidante apresentaram atividade enzimática maior em relação a maçãs com ES (Figura 26) Considerando que o ES é um estereoisômero de AA, a redução da atividade da POD na 'Elenise' está de acordo com os resultados relatados por Jang e Moon (2011), onde a presença de AA reduziu efetivamente a atividade da POD em maçãs MP. A atividade reduzida da POD em maçãs 'Elenise' tratadas com AA pode ser o resultado de menor estresse oxidativo na superfície do fruto, devido à natureza antioxidante do AA molecular (SABA; SOGVAR, 2016). As enzimas POD e PPO possuem alguns substratos comuns, e seus substratos difenólicos comuns podem levar à formação de melanina. Além disso, ambas as enzimas têm inibidores comuns que podem ser usados na prevenção do escurecimento enzimático (NOKTHAI; LEE; SHANK, 2010; SHRESTHA et al., 2020). Por exemplo, compostos de polifenóis ou antioxidantes, como o ES, são capazes de competir com as enzimas (PPO ou POD) e interagir no sítio ativo destas. Os polifenóis e os antioxidantes também possuem grupos hidroxila que podem estar envolvidos na doação de elétrons para a quinona intermediária, levando ao término do processo de oxidação. E ainda, podem quelar os íons metálicos, especialmente Cu^{2+} e Fe^{3+} no sítio de ligação e catalítico das enzimas. Consequentemente, a atividade enzimática se reduz quando esses derivados fenólicos e antioxidantes formam ligações de hidrogênio no sítio ativo das enzimas (CIRKOVIC; STANIC-VUCINIC, 2018).

Figura 26. Atividade da enzima POD em quatro cultivares de macieira minimamente processadas em função do tempo de armazenamento ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$), após o tratamento com e sem o antioxidante eritorbato de sódio. Safra 2018/2019.



Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

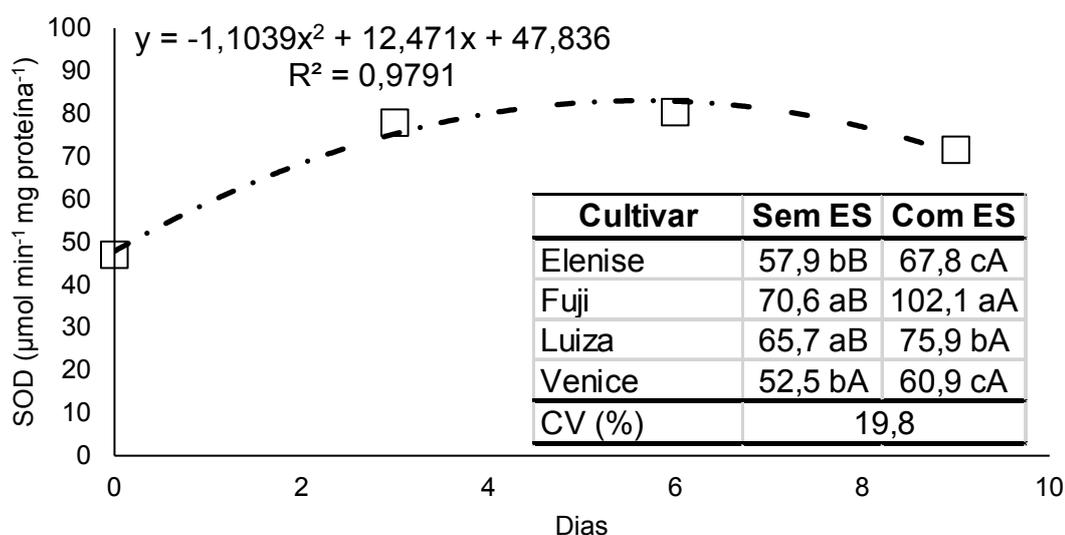
Para frutos submetidos à aplicação de ES, as maçãs da cultivar Fuji Mishima apresentaram maior atividade de POD. Já para frutos não submetidos à aplicação de ES, maçãs 'Fuji Mishima' e 'Elenise' apresentaram maior atividade de POD (Figura 26). A atividade de POD, assim como a de PPO, pode apresentar uma variabilidade grande entre as cultivares de macieira (SERRA et al., 2021). Estes autores estudaram a atividade enzimática da POD de 14 cultivares de maçãs, verificaram que os níveis mais baixos de atividade da POD foram em 'Topaz', uma cultivar que apresentou mudanças extremas de cor. Já outra cultivar de mudança de cor mais branda, 'Granny Smith', também apresentou níveis baixos de POD. Neste estudo, as cultivares Luiza e Venice, que apresentaram maior e menor escurecimento da polpa, respectivamente, também apresentaram as menores atividades de POD. Desta maneira, Serra et al. (2021), também enfatizam a narrativa de uma série complexa de reações bioquímicas que contribuem para a formação enzimática e o escurecimento da polpa em maçãs.

Tang et al. (2020) verificaram que as atividades de PPO e teores de CFT não mudaram durante o escurecimento de maçãs MP, enquanto as atividades de POD e SOD e os níveis de AA mudaram significativamente. Portanto, um poderoso sistema antioxidante pode ser um elemento importante para retardar o escurecimento (ZHANG et al., 2015). Em maçãs MP, feridas acumuladas durante o corte e armazenamento

induzem o acúmulo de ERO (CHUMYAM et al., 2019). O acúmulo de ERO pode estimular a peroxidação lipídica da membrana, formar produtos tóxicos, romper a estrutura da membrana celular e causar vazamento de íons e descompartmentalização celular, acelerando o escurecimento enzimático (LIN et al., 2014). Sabe-se que o teor de ERO aumenta enquanto o escurecimento acelera, à medida que o tempo de armazenamento avança (WANG et al., 2016). Tang et al. (2020) sugerem que maçãs com atividade de SOD e POD mais elevadas podem ajudar a proteger as células contra danos, removendo o excesso de radicais livres (GONG et al., 2001) e retardando o escurecimento enzimático na polpa de maçãs.

Em relação à enzima SOD, houve uma progressão quadrática, com aumento da sua atividade até entre o terceiro e sexto dia de armazenamento e leve redução da sua atividade em seguida (Figura 27). O grande acúmulo de ERO agrava o escurecimento enzimático de maçãs MP, mas a fruta possui um sistema completo de defesa enzimática antioxidante, incluindo SOD, catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX), glutathione redutase (GR), etc. (OMS-LIU et al., 2008), que pode efetivamente remover ERO e retardar os danos oxidativos. Qi et al. (2019) observaram aumento na atividade de enzimas antioxidantes de maçãs MP, aumentando durante os primeiros 2 dias de armazenamento e depois diminuindo gradualmente.

Figura 27. Atividade da enzima SOD em quatro cultivares de macieira minimamente processadas em função do tempo de armazenamento ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$), após o tratamento com e sem o antioxidante eritorbato de sódio. Safra 2018/2019.



Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

As maçãs que receberam o tratamento de ES apresentaram maior atividade da SOD em relação às aquelas sem o antioxidante, à exceção das maçãs 'Venice', que não apresentaram diferença com o tratamento de ES (Figura 27). As enzimas antioxidantes desempenham um papel importante na manutenção dos frutos MP e a maior atividade de SOD nas maçãs que receberam aplicação de ES pode ter contribuído com o retardo do escurecimento enzimático (TANG et al., 2020). Com relação às cultivares, as maçãs 'Elenise' e 'Venice' apresentaram menor atividade de SOD em ambos os tratamentos, com e sem ES, em comparação às demais cvs. Quando aplicado ES nos frutos, a cv Fuji Mishima apresentou maior atividade da SOD. Quando os frutos não receberam o antioxidante, a cv Fuji Mishima apresentou maior atividade desta enzima juntamente com a 'Luiza'.

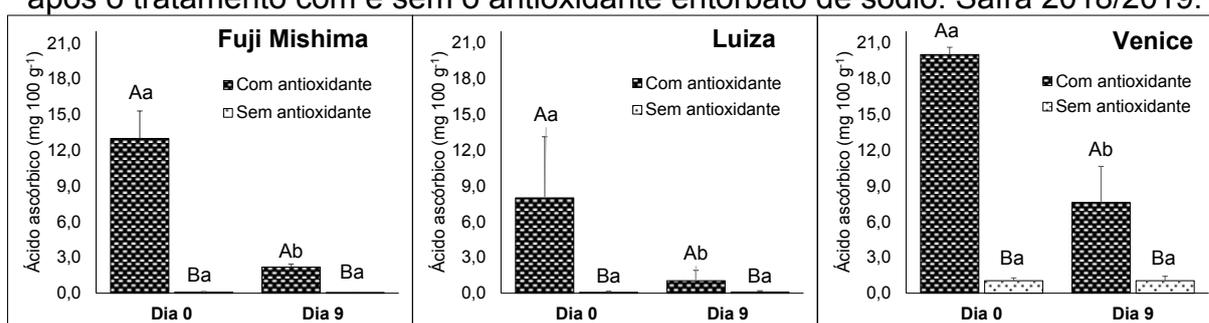
Na maioria dos estudos, as variáveis mais relacionadas ao escurecimento enzimático na polpa de maçãs e seu controle envolvem compostos fenólicos, atividade enzimáticas e AA (WEN et al., 2021; ZHANG et al., 2022; FAN, 2022). Segundo Suzuki, Oliveira e Franca (2021), o AA possui propriedades redutoras e pode impedir a decomposição de ácidos clorogênicos em ácidos cafeicos (GÓMEZ-JUARISTI et al., 2020). Já Ercoli et al. (2017), estudando cultivares e seleções brasileiras verificaram correlação entre os fatores que afetam a cor da polpa de maçãs e indicou que o AA pode diminuir a reação de escurecimento através da inibição da PPO.

O teor de AA foi consideravelmente maior em frutos que receberam o tratamento de ES, onde, em todas as cultivares, maçãs MP que receberam o tratamento do antioxidante apresentaram maior teor de AA, tanto no dia do processamento, quanto após 9 dias armazenadas em BOD (Figura 28). O ES possui ação antioxidante devido às suas propriedades redutoras (WATANABE et al., 2014), agindo de maneira semelhante ao AA (CLARK et al., 2009). Assim, pode-se inferir que o ES atuou preservando efetivamente o conteúdo de polifenóis e o escurecimento enzimático, conforme observado neste estudo. O ES é considerado seguro para consumo humano, de baixo custo, bem aceito pelos consumidores e capaz de preservar o teor de vitamina C (LOAN; MANZANO, 1993; EFSA, 2016), embora apresente apenas 5% da atividade desta vitamina.

Nos frutos que não receberam ES, a degradação desta vitamina ocorreu no mesmo dia do processamento mínimo (Figura 28). Assim, após 9 dias, em todas as cultivares, o teor de AA nos frutos sem tratamento de ES não diferiu em relação ao

seu teor nos frutos no dia do processamento. Já os frutos que receberam o ES apresentaram uma redução no teor de AA após 9 dias armazenados, em todas as cultivares. Segundo Rojas-Grau et al., (2008), quando o AA é completamente oxidado em ácido desidroascórbico, as quinonas podem se acumular novamente e causar escurecimento. O AA é bastante instável e fora da sua compartimentalização celular, em pouco tempo pode ocorrer sua degradação. Cocci et al. (2006) notaram que parte do excedente de AA das fatias de maçãs MP foi rapidamente oxidado durante um dia de refrigeração. Como previamente demonstrado por Kalt et al. (1999), nas células vegetais a maior parte do AA está localizada no vacúolo, que é um ambiente de pH muito baixo e também contém flavonóides fenólicos. A ação redutora dos flavonóides juntamente com o baixo pH do vacúolo deve impedir a rápida oxidação do AA. Provavelmente, o AA de fatias mergulhadas no ES foram melhor conservados devido à maior concentração desse sal, que pode ter evitado a oxidação naturalmente acelerada do AA, retardando sua oxidação e, assim, evitando o escurecimento da polpa das maçãs MP (RIBEIRO et al., 2019a). Para Cocci et al. (2006), o uso de antioxidantes pode ser considerado uma forma de enriquecer o tecido do fruto com AA, o que pode contribuir para um aumento da atividade antioxidante que normalmente deriva de compostos bioativos endógenos.

Figura 28. Teor de ácido ascórbico de três cultivares de maçãs minimamente processadas em função do tempo de armazenamento ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$) após o tratamento com e sem o antioxidante eritorbato de sódio. Safra 2018/2019.



Letras minúsculas iguais nas barras escuras, letras minúsculas iguais nas barras claras e barras unidas com a mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Em relação às cultivares, a 'Venice' foi a que apresentou maior teor de AA, enquanto a 'Luiza' foi a que apresentou menor teor (Figura 28). Varmig et al. (2013), estudando maçãs dinamarquesas, observaram variação no teor de AA entre as cultivares. Fang et al. (2017), reportaram variações semelhantes de AA em maçãs

comerciais e em seleções melhoradas. Entre essas cultivares avaliadas, 'Venice' foi também a cultivar com menor escurecimento da polpa, enquanto a 'Luiza' a com maior escurecimento. Diversos estudos demonstram a efetiva ação de AA na inibição do escurecimento da polpa em maçãs (ERCOLI et al., 2017; ERTEKIN FILIZ; SEYDIM, 2018; FAN, 2022;). Num estudo recente, Wen et al. (2021), mostraram, através de ensaio de fluorescência e técnicas que analisam transferência de energia de ressonância de Förster, que o AA interagiu com a tirosinase em um contato dinâmico e induziu uma mudança conformacional da enzima PPO. Estes autores concluem que o AA interage com o cobre e o encaixe molecular na PPO, podendo quelar os íons de cobre localizados no centro ativo da enzima e interagir com os resíduos de aminoácidos da tirosinase via interação hidrofóbica. Além disso, o AA previne o escurecimento de maçãs MP aumentando a atividade de APX e inibindo as atividades de PPO e POD que reduzem a oxidação de CFT e flavonóides. De acordo com Ertekin Filiz e Seydim (2018), o escurecimento enzimático é evitado, na presença do AA, devido à sua capacidade antioxidante. Ao invés do oxigênio participar na oxidação dos fenóis, na presença de PPO e POD, atua na oxidação do AA (LI; SCHELLHORN, 2007; FANG et al., 2017).

3.4 CONCLUSÕES

As maçãs 'Venice', 'Elenise' e 'Fuji Mishima' são as mais indicadas ao mercado de frutos MP. Por outro lado, as maçãs 'Luiza', 'Daiane' e 'Maxi Gala' são as menos recomendadas para o processamento mínimo. As maçãs das cultivares Venice, Elenise e Fuji Mishima são menos propensas à redução de luminosidade, alteração de tonalidade, escurecimento e mudança total de cor da polpa.

A taxa respiratória e a produção de etileno são atributos relacionados com o escurecimento da polpa das maçãs. Cultivares de maçãs com menor taxa respiratória, 'Elenise', 'Venice' e 'Fuji Mishima', possuem escurecimento da polpa mais branda enquanto maçãs com maior produção de etileno, 'Luiza', 'Maxi Gala' e 'Monsalisa', possuem escurecimento da polpa mais evidente. O menor escurecimento da polpa em maçãs 'Elenise' e 'Fuji Mishima' está relacionado com os menores teores de CFT, enquanto em maçãs 'Venice' está relacionado aos maiores teores de AA e as menores atividades da PPO e POD.

O emprego de antioxidante é fundamental para preservação das características de qualidade das maçãs MP, especialmente a manutenção da cor da polpa. ES é eficaz na manutenção da cor da polpa das maçãs e em demais atributos físico-químicos, além de melhorar a qualidade nutricional, como a AAT, o teor de CFT e os níveis de AA nos frutos MP.

4 QUALIDADE DE MAÇÃ MINIMAMENTE PROCESSADA EM FUNÇÃO DO USO DE ERITORBATO DE SÓDIO E DO PERÍODO DE ARMAZENAGEM DOS FRUTOS

4.1 INTRODUÇÃO

As maçãs minimamente processadas são suscetíveis à deterioração devido a alterações microbiológicas, enzimáticas, físicas e químicas, que podem reduzir sua qualidade, valor nutricional e segurança, além de levar a alterações indesejáveis de seus atributos físico-químicos e sensoriais. Diante dessas questões, uma diversidade de métodos biológicos, físicos e químicos de conservação de frutos MP foram desenvolvidos para prolongar a vida útil dos alimentos e mantê-los seguros para os consumidores, sem alteração de suas características sensoriais (INANLI et al. 2020). Assim, a aplicação de conservantes no processamento de frutos tornou-se uma das técnicas atuais de conservação de alimentos. Os antioxidantes têm sido usados como conservantes para limitar ou retardar a deterioração biológica e química dos frutos, impedindo a oxidação de pigmentos, sabores, lipídios e vitaminas (BENSID et al., 2020). De maneira geral, a indústria de processamento mínimo de frutos utiliza a combinação de métodos físicos e químicos para o controle do escurecimento enzimático, pois evita o uso de tratamentos individuais mais severos que poderiam prejudicar outros atributos sensoriais dos vegetais (SILVA; ROSA; VILAS BOAS, 2009)

A oferta de maçãs MP e com baixo escurecimento da polpa se torna possível a partir do tratamento com compostos antioxidantes, tais como eritorbatos, logo após o corte dos frutos (CANTILLANO et al, 2017). De acordo com Ribeiro (2016), maçãs 'Gala' e 'Fuji' MP e tratadas com ES a 5%, em associação com CaCl_2 a 1%, não apresentaram perda de qualidade significativa nas avaliações físico-químicas e mantiveram melhor aparência e qualidade sensorial em comparação a outros conservantes como L-cisteína (0,6%), ácido eritórbito (3%) e ácido kójico (0,07%). Cantillano et al. (2017) testaram L-cisteína a 0,6% e três concentrações de ES (3%, 4% e 5%) como agentes conservantes na maçã MP 'Royal Gala' e concluíram que ambos os antioxidantes e em qualquer concentração foram eficientes no controle de escurecimento da polpa dos frutos. Todavia, para estes autores, apenas o ES a 5% foi eficiente no controle do escurecimento de polpa das maçãs após o prolongamento do armazenamento em 9 dias. Já Seifert (2017) trabalhou com diferentes coberturas

comestíveis, com e sem a presença de ES a 5% na maçã MP 'Gala'. Os melhores resultados nesse estudo, em termos de escurecimento e preservação das características físico-químicas, foram encontrados nos tratamentos que continham o ES a 5%.

Conforme observado nos capítulos 1 e 2, algumas maçãs brasileiras apresentam perda de qualidade, incluindo escurecimento da polpa, menor após o corte dos frutos, em relação a maçãs de cultivares tradicionais, como a 'Gala'. Todavia, a utilização de agentes conservantes é imprescindível mesmo para essas maçãs com menor escurecimento da polpa e maior potencial para processamento mínimo. Contudo, é possível que concentrações menores de agentes conservantes sejam necessárias para controlar os efeitos danosos na qualidade de maçãs cujas cultivares apresentem menor suscetibilidade ao escurecimento da polpa e/ou melhor resposta aos agentes conservantes.

Sabe-se que a maturidade das maçãs na colheita e o estágio de maturação, no momento do processamento mínimo, afetarão a qualidade e a vida útil dos produtos MP (HARKER et al., 2003). No Brasil, a maior parte das maçãs produzidas são armazenadas em câmaras frias com a finalidade de ofertar frutos de qualidade ao longo do ano (GONÇALVES; ARGENTA; DE MARTIN, 2017). Contudo, não se sabe como o período de armazenagem de maçãs brasileiras pode afetar seu potencial para serem utilizadas como alimento minimamente processado.

Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar o efeito de concentrações baixas de ES (0%, 0,5%, 1% e 2%) sobre o escurecimento da polpa, atividade enzimática e demais atributos físico-químicos de maçãs das cultivares Luiza, Venice, Elenise e Fuji Mishima submetidas ao processamento mínimo, bem como verificar a qualidade destas maçãs minimamente processadas, após um período de 100 dias de AR.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Maçãs das cultivares, SCS425 Luiza, SCS426 Venice, Fuji Mishima e SCS427 Elenise foram colhidas de pomares localizados no município de São Joaquim, SC, durante a safra 2019/2020. Foram utilizadas maçãs 'Venice' e 'Elenise' devido aos resultados promissores dos capítulos 1 e 2, onde estas maçãs apresentaram menor escurecimento da polpa. Maçãs 'Fuji Mishima' também apresentaram bons resultados, com baixo escurecimento da polpa e pertencem a um grupo de cultivares das mais

plantadas no Brasil, ou seja, possui grande potencial para o mercado de MP no país. Já maçãs 'Luiza' apresentaram elevado escurecimento da polpa e foram utilizadas para fins de comparação às maçãs com baixo escurecimento.

Após a colheita, foi efetuada uma padronização de calibre, e os frutos que apresentavam podridões, lesões ou defeitos foram eliminados. Os atributos de maturação (firmeza da polpa, acidez titulável, teor de sólidos solúveis e índice iodo-amido) foram avaliados, em todas as cultivares, após a colheita, e encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7. Data da colheita, firmeza da polpa (FP), teor de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT) e índice de iodo-amido (IA) em frutos de oito cultivares de macieira na colheita, na safra 2019/2020.

Cultivar	Data colheita	FP (N)	SS (°Brix)	AT (% ac. málico)	IA (1-10)
Luiza	13/02	85,7	14,9	0,459	7,3
Venice	23/03	84,2	14,2	0,337	8,4
Fuji Mishima	02/04	77,3	15,5	0,443	6,2
Elenise	17/04	84,9	14,8	0,576	7,6

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Após a colheita, os frutos foram armazenados em câmara fria a $0,5 \pm 0,2$ °C e UR de $85 \pm 5\%$ durante 5 e 100 dias. O AR de 100 dias teve como objetivo avaliar se as cultivares com potencial para processamento mínimo durante a colheita são capazes de manter esse potencial após armazenamento prolongado dos frutos, a fim de manter um abastecimento do produto ao longo do ano. Após o período em armazenamento, foi realizado o processamento mínimo dos frutos.

Semelhante ao capítulo 2, para a montagem do experimento, as maçãs foram sanitizadas imergindo-as em uma solução de hipoclorito de sódio (200 ppm) durante 10 minutos. Após, as maçãs foram cortadas em oito fatias longitudinais, retirando-se a região carpelar e mantendo-se a casca. As fatias de maçãs de cada cultivar foram mergulhadas por um minuto nos seguintes tratamentos: 1. 0% de ES (água destilada + cloreto de cálcio 1%); 2. 0,5% de ES (eritorbato de sódio 0,5% + cloreto de cálcio 1%); 3. 1,0% de ES (eritorbato de sódio 1,0% + cloreto de cálcio 1%); 4. 2,0% de ES (eritorbato de sódio 2,0% + cloreto de cálcio 1%). Posteriormente, oito fatias de maçãs foram colocadas em bandejas de polietileno tereftalato e armazenadas por dois períodos de tempo (0 e 10 dias), em BOD com a temperatura controlada em $5 \pm 0,5$ °C e UR de $80 \pm 8\%$. O período de 0 dias compreendeu cerca de 2h de armazenamento

na BOD, tempo considerável para que todas as amostras se encontrassem homogêneas em termos de temperatura e umidade.

Foram avaliados a perda de massa, a textura da polpa, a acidez titulável, o teor de sólidos solúveis, o escurecimento da polpa, expresso em luminosidade, ângulo *hue*, índice de escurecimento normalizado (IE) e mudança total de cor (ΔE), as taxas respiratórias e de produção de etileno, a atividade antioxidante total (métodos ABTS e DPPH), os compostos fenólicos totais, o teor de ácido ascórbico, a atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PPO). Todas essas avaliações foram realizadas com a mesma metodologia descrita nos capítulos 1 e 2.

A atividade enzimática foi determinada apenas nas cultivares Luiza e Elenise, as quais apresentaram grande contraste de escurecimento da polpa, ou seja, as maçãs 'Luiza' apresentaram os maiores índices de escurecimento da polpa enquanto maçãs 'Elenise' apresentaram um dos menores.

Nas maçãs em AR por 100 dias, foram repetidas as avaliações de perda de massa, textura da polpa, acidez titulável, teor de sólidos solúveis, taxas respiratórias e de produção de etileno e escurecimento da polpa.

O delineamento experimental deste experimento foi inteiramente casualizado, com esquema fatorial (4x2x4) composto por "concentração de ES" (0, 0,5, 1, e 2 %) x "período de armazenamento" (0 e 10 dias) e "cultivar" (Luiza, Venice, Fuji Mishima e Elenise). Foram utilizadas 4 repetições e a unidade experimental foi constituída por uma bandeja com oito fatias de maçã.

Os dados foram submetidos à ANOVA, e quando a interação entre os fatores foi significativa ($p < 0,05$), os dados foram submetidos ao desdobramento dos efeitos. Para os fatores qualitativos, "período de armazenamento" e "cultivar", foi realizado teste de comparação de médias Scott-Knott, enquanto para o fator quantitativo "concentração de ES", foi realizado análise de regressão.

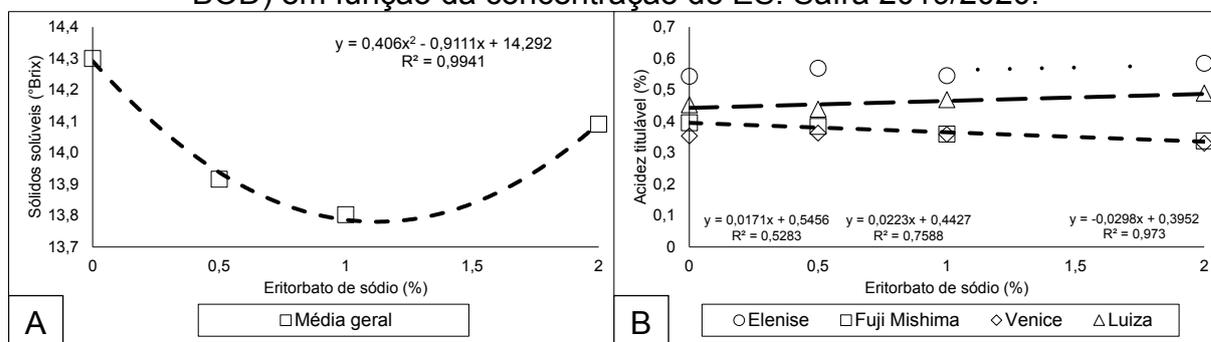
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Maçãs MP depois do AR de 5 dias

A concentração de ES afetou o teor de SS das maçãs MP, independentemente da cultivar e do período de armazenamento. O teor de SS sofreu redução até a

concentração de 1% de ES com posterior acréscimo (Figura 29A). Os SS e a AT são comumente usados para avaliar a qualidade dos frutos, e uma mudança na relação entre esses parâmetros pode ter um grande impacto no sabor da maçã MP (HAGEN et al., 2007; PIAGENTINI; PIROVANI, 2017). Contudo, avaliações sensoriais em outros estudos já demonstraram que o ES junto com CaCl_2 não apresenta prejuízos organolépticos em maçãs MP com relação à fruta *in natura* (RIBEIRO, et al., 2019a; RIBEIRO, et al., 2019b).

Figura 29. Sólidos solúveis (A) e acidez titulável (B) de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas (média dos períodos 0 e 10 dias de armazenamento em BOD) em função da concentração de ES. Safra 2019/2020.



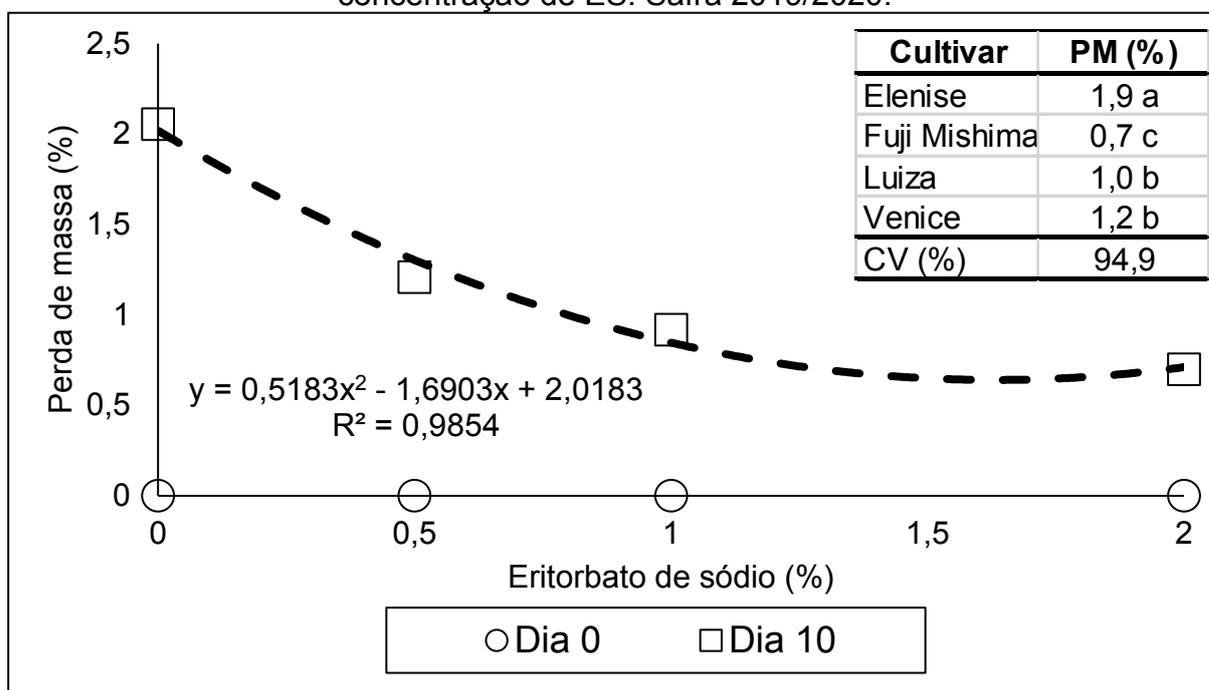
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

A AT das maçãs 'Elenise', 'Fuji Mishima' e 'Luiza' MP também foram afetadas pelas concentrações de ES, onde as maçãs das cvs. Elenise e Luiza apresentaram aumento linear de ácido málico enquanto as maçãs 'Luiza' apresentaram redução linear de ácido málico conforme maior a concentração de ES (Figura 29B). As maçãs da cv. Venice não sofreram alterações na AT em função da concentração de ES. Na classificação de maçãs para o mercado de minimamente processados da Europa, os atributos de acidez são considerados com bastante relevância (NOGUEIRA et al., 2004). A cultivar Elenise apresenta frutos com alto teor de acidez, atributo que pode ser considerado positivo para o mercado de processados de maçã.

Conforme figura 30, quanto maior a concentração de ES nas maçãs MP, menor a sua perda de massa. A lesão mecânica dos tecidos vegetais causada pelo processamento mínimo intensifica as perdas de água, aumentando assim o risco de murcha e desidratação (RUX et al., 2019). Este efeito é resultado da redução da resistência à difusão devido à remoção da camada epidérmica protetora natural (BEAUDRY, 2000). Maçãs da cv. Elenise apresentaram maior perda de massa após 10 dias do processamento mínimo enquanto maçãs da cv Fuji Mishima apresentaram

menor perda de massa em relação às demais. Perda de massa significativa tem efeito fisiológico e pode comprometer a aparência, a textura e a qualidade nutricional das frutas e legumes minimamente processados (SANCHIS et al., 2016). Embora com os valores mais elevados, as maçãs 'Elenise' não chegaram a perder nem 2% de massa, porcentagem insignificante até mesmo para o início do aparecimento de murchamento ou enrugamento na superfície (FINGER; VIEIRA, 1997).

Figura 30. Perda de massa (média de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas) após 10 dias de armazenamento em BOD, em função da concentração de ES. Safra 2019/2020.



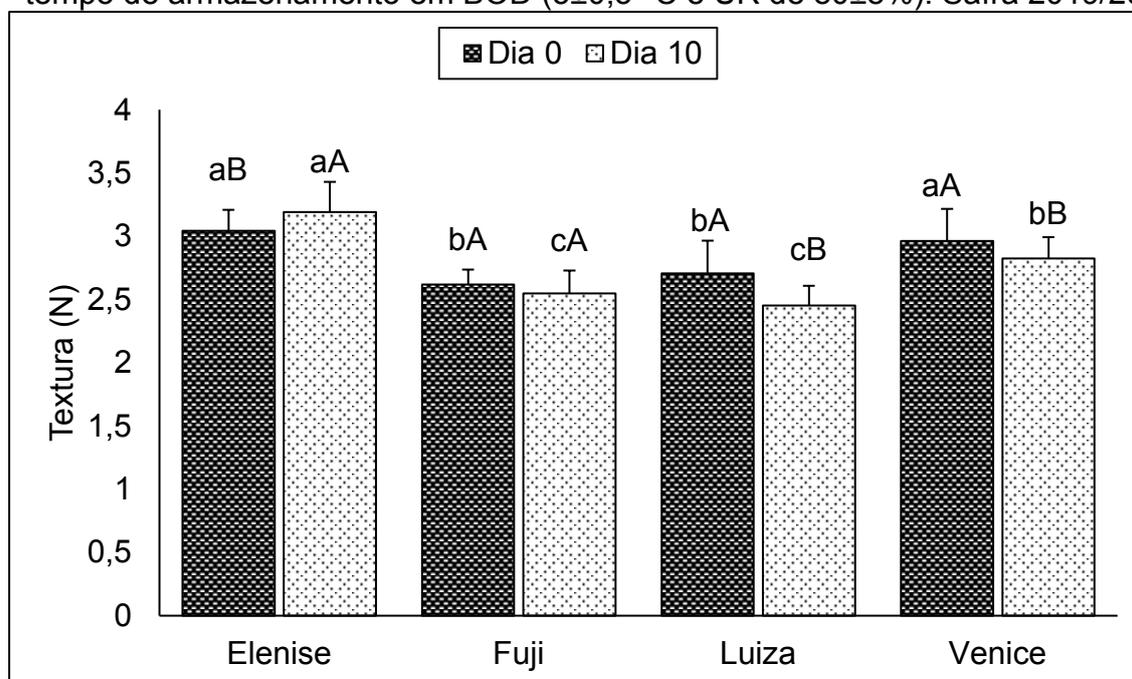
Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

A força para penetração da polpa das maçãs MP apresentou um aumento quadrático com o aumento da concentração de ES, independentemente da cultivar ou do período de armazenamento (dados não apresentados). O uso de CaCl_2 tem papel essencial na manutenção da integridade e firmeza da polpa, devido à sua ação como estabilizador de biomembrana, e a ação sinérgica com o ES pode ter garantido os melhores resultados na manutenção da força para penetração da polpa (LEE et al., 2003; GANG et al., 2015). Maiores concentrações de ES também garantiram menor perda de massa nas maçãs MP, o que conseqüentemente pode ter garantido também uma melhor manutenção da textura dos frutos (SANCHIS et al., 2016).

Já na força para penetração da polpa das maçãs MP em relação ao período de armazenamento, as cultivares apresentaram alterações de texturas variadas. As maçãs 'Luiza' e 'Venice' apresentaram redução da força para penetração da polpa após 10 dias de armazenamento, já as maçãs 'Fuji Mishima' não apresentaram diferenças na textura da polpa após este período de armazenamento, enquanto as maçãs 'Elenise' apresentaram aumento da força para penetração da polpa após 10 dias armazenadas em BOD (Figura 31). As maçãs da cultivar Elenise foram as que apresentaram maior perda de massa após 10 dias de armazenamento em BOD. Para Souza et al. (2005), devido à maior perda de umidade, pode ocorrer a formação de um tecido superficial resistente, fazendo com que os frutos se tornem mais firmes. Já as maçãs 'Fuji Mishima' foram as que apresentaram menor perda de massa e conseqüentemente, mantiveram a textura da polpa de seus frutos. Independentemente do período de armazenamento, maçãs 'Elenise' apresentaram maior força necessária para penetração da polpa, enquanto maçãs 'Fuji Mishima' e 'Luiza' menor força necessária.

Figura 31. Força para penetração da polpa de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas (média de quatro concentrações de ES) em função do tempo de armazenamento em BOD ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2019/2020.



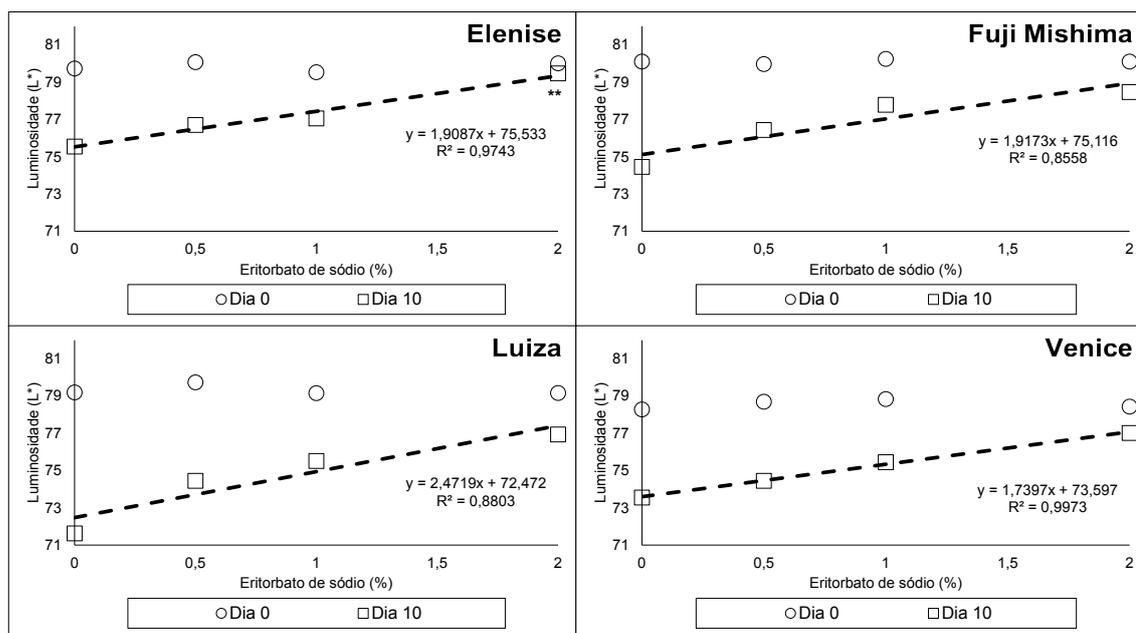
Letras minúsculas iguais nas barras escuras, letras minúsculas iguais nas barras claras e barras unidas com a mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

A luminosidade da polpa das maçãs MP sofreu influência da concentração de ES, do período de armazenamento e da cultivar (Figura 32). Para todas as cultivares, no dia do processamento, a concentração de ES não alterou a luminosidade da polpa das maçãs MP. Neste período, a luminosidade da polpa das maçãs 'Fuji Mishima' e 'Elenise' eram maiores, enquanto a cv. Venice apresentava os frutos MP com menor luminosidade da polpa. Conforme os resultados já apresentados nos primeiros capítulos, a luminosidade da polpa natural das maçãs da cv. Venice é menor.

Após o período de 10 dias armazenadas, as maçãs MP sofreram redução de luminosidade da polpa (Figura 32). Todavia, o aumento da concentração de ES apresentou efeito linear e crescente na preservação da luminosidade da polpa das maçãs de todas as cultivares, sendo que, na concentração de 2%, o ES manteve a luminosidade da polpa das maçãs 'Elenise', mesmo após 10 dias armazenadas em BOD. O ES é um agente antioxidante devido à sua capacidade de extinguir o oxigênio singlete, de doar hidrogênio e atuar como agente redutor (CAROCHO et al., 2018). A principal ação relatada de ES na preservação da luminosidade da polpa das maçãs MP deve-se ao fato de que ele reage com o oxigênio e pode removê-lo de um sistema fechado (LEE et al., 2012). Conforme Silva, Rosa e Vilas Boas (2009), os agentes redutores atuam na prevenção do escurecimento enzimático reduzindo as quinonas a difenóis ou reagindo irreversivelmente com elas formando produtos estáveis e sem cor.

É possível verificar que maçãs MP de algumas cultivares apresentaram redução de luminosidade maior que outras. Após o período de 10 dias, as maçãs da cultivar 'Fuji Mishima' já apresentavam luminosidade da polpa menor que das maçãs 'Elenise' e as maçãs 'Luiza' apresentavam luminosidade da polpa menor que maçãs 'Venice'. Isso indica que enquanto as maçãs 'Venice' e 'Elenise' mantêm uma redução de luminosidade da polpa mais lenta, as maçãs das cvs. Luiza e Fuji Mishima apresentam uma redução de luminosidade mais acelerada.

Figura 32. Luminosidade da polpa de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2019/2020.

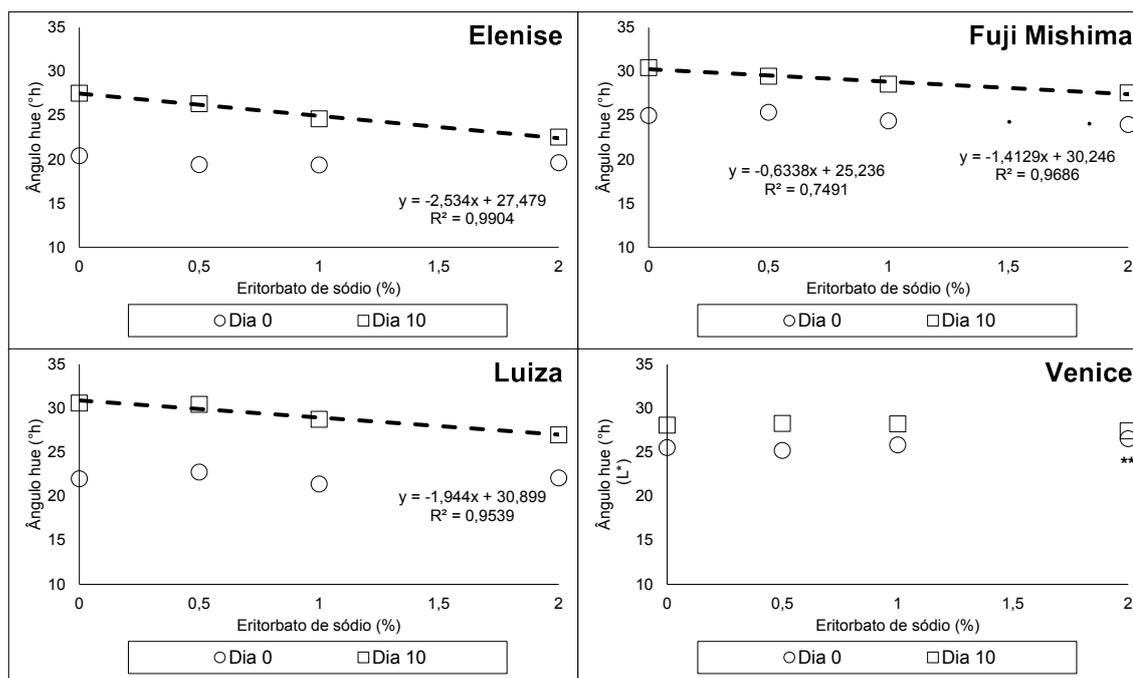


** não significativo

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

A tonalidade da polpa das maçãs MP, expressa pelo ângulo *hue*, também foi influenciada pelos fatores concentração de ES, período de armazenamento e cultivar (Figura 33). A exceção da cultivar Venice, cujas maçãs não sofreram influência da concentração de ES na alteração da tonalidade da polpa em ambos os períodos avaliados, as demais cultivares apresentaram uma alteração de tonalidade, sendo essa alteração menor conforme maior a concentração de ES, após os 10 dias de armazenamento. Nas maçãs 'Elenise' e 'Luiza', no dia do processamento dos frutos, a concentração de ES também não apresentou influência na tonalidade da polpa. Todavia, nas maçãs da cv Fuji Mishima, até mesmo no dia do processamento dos frutos, a concentração de ES influenciou na alteração de tonalidade da polpa. Assim como na luminosidade da polpa, o fator que apresentou maior influência na alteração de tonalidade da polpa das maçãs MP foi o período de armazenamento. Apenas a concentração de 2% de ES na cultivar Venice manteve a tonalidade da polpa das maçãs MP após 10 dias de armazenamento. Nas demais concentrações, assim como as demais cultivares com qualquer concentração de ES, houve alterações de tonalidade da polpa das maçãs MP após os 10 dias de armazenamento.

Figura 33. Ângulo *hue* na polpa de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ($5 \pm 0,5$ °C e UR de $80 \pm 8\%$). Safra 2019/2020.



** não significativo

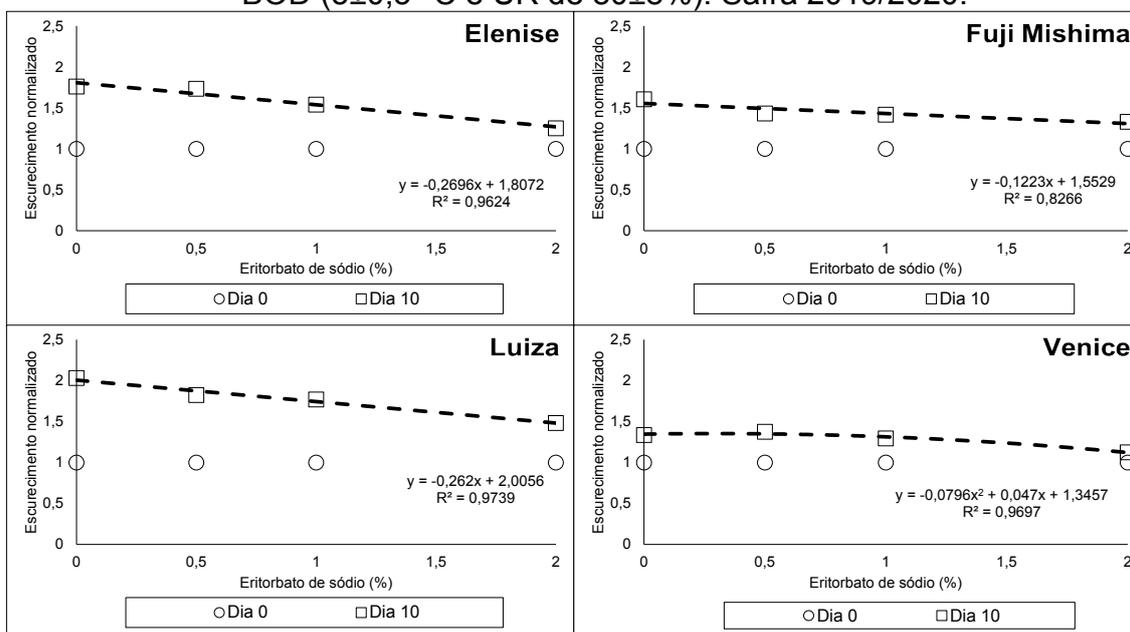
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Em relação ao escurecimento, as maçãs MP de todas as cultivares, independentemente da concentração de ES, apresentaram escurecimento da polpa após 10 dias de armazenamento (Figura 34). Além disso, o aumento da concentração de ES apresentou um efeito de redução de escurecimento da polpa de maçãs MP, após o período de 10 dias de armazenamento. O escurecimento enzimático é um problema crítico em maçãs, especialmente na indústria de processamento, que, com a proibição dos sulfitos em muitos países, precisa de agentes anti-escurecimento para frutos MP (SERRA et al., 2021). A oxidação, que causa o escurecimento, também pode resultar em perda de qualidade nutricional e proporcionar modificações de sabor nas maçãs MP (RIBEIRO et al., 2019b). Desta maneira, um agente antioxidante pode preservar outros atributos organolépticos também, além da cor da polpa das maçãs MP.

Em relação às cultivares, observa-se que as maçãs 'Luiza' são as que apresentaram maior escurecimento da polpa, enquanto as maçãs 'Venice', as que apresentaram o menor escurecimento, independentemente da concentração de ES utilizada (Figura 34). Observa-se também, que as maçãs das cultivares Elenise e Luiza sofrem maior influência do ES em relação ao escurecimento da polpa, sendo que o antioxidante atuou reduzindo consideravelmente este atributo negativo à medida que se elevou sua concentração. Esses resultados apontam para a

importância do antioxidante em inibir o escurecimento da polpa. O CaCl_2 , além de auxiliar a manutenção da firmeza da polpa, também pode ser responsável pela manutenção da cor. Esse efeito está relacionado à sua ação na prevenção da degradação da membrana celular, com conseqüente redução na liberação de substratos para a atividade da PPO (PEREZ-CABRERA et al., 2011).

Figura 34. Escurecimento da polpa de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ($5\pm 0,5\text{ }^\circ\text{C}$ e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2019/2020.

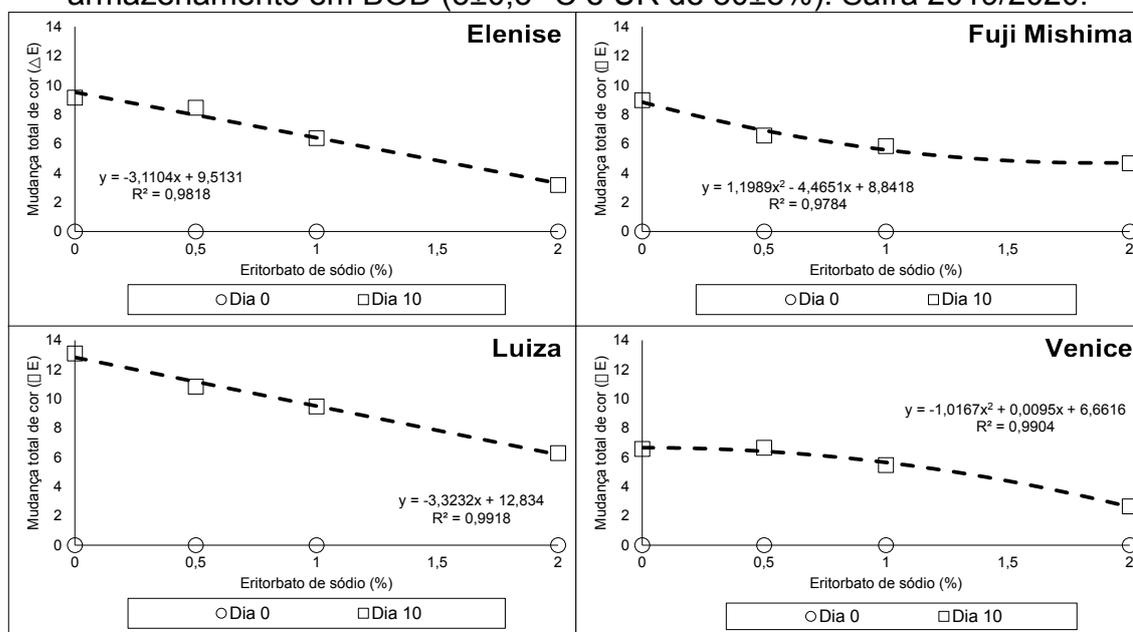


Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

A mudança total de cor da polpa das maçãs MP teve um comportamento bastante parecido com o do escurecimento da polpa. As maçãs de todas as cultivares apresentaram mudança de cor após 10 dias armazenadas em BOD e redução na ΔE à medida que se elevaram as concentrações de ES. Maçãs da cultivar Luiza apresentaram maior ΔE na polpa em qualquer concentração de ES, aos 10 dias de armazenamento (Figura 35). Maçãs da cultivar Venice apresentaram menor ΔE na polpa em todas as concentrações de ES, sendo que, nas concentrações mais altas de ES (1 e 2 %), não diferiram das maçãs 'Elenise', indicando a maior influência do ES em maçãs 'Elenise' em relação às maçãs 'Venice'. De acordo com Ribeiro et al. (2019a,b), maçãs 'Gala' e 'Fuji' MP e tratadas com ES a 5%, em associação com CaCl_2 a 1%, não apresentaram perda de qualidade significativa nas avaliações físico-químicas e mantiveram melhor aparência e qualidade sensorial em comparação a

outros conservantes como L-cisteína (0,6%), ácido eritórbito (3%) e ácido kójico (0,07%).

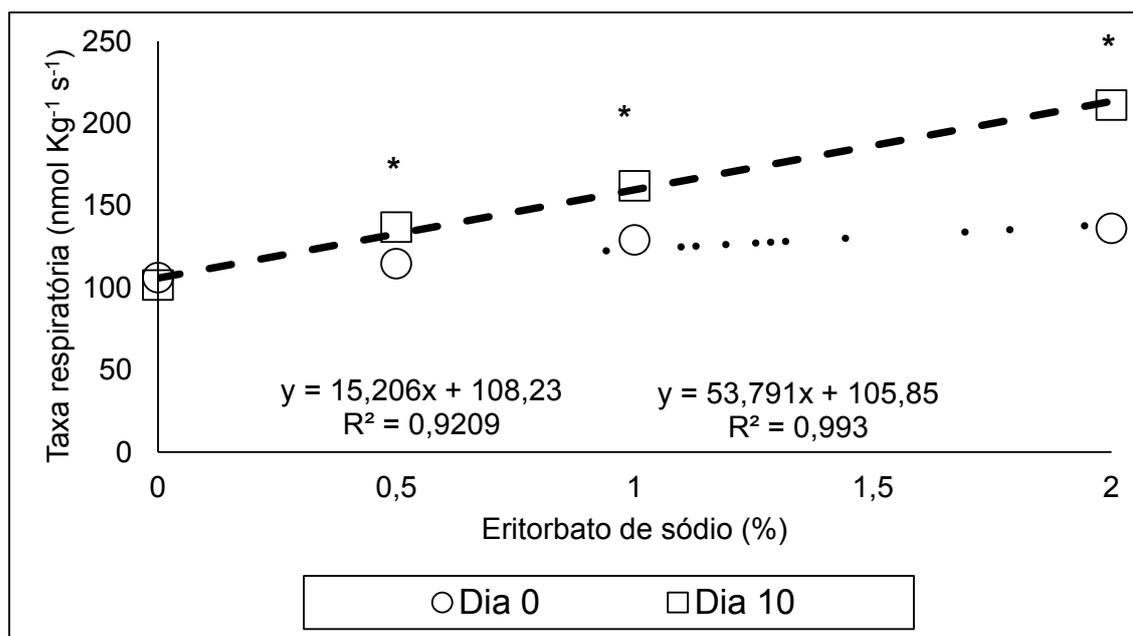
Figura 35. Mudança total de cor na polpa de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2019/2020.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

A taxa respiratória das maçãs MP não apresentou uma interação tripla entre os fatores período de armazenamento, concentração de ES e cultivar, porém, apresentou três interação duplas entre eles. O efeito do aumento da concentração de ES foi de aumentar a taxa respiratória das maçãs MP, independentemente do período de armazenamento (Figura 36). Todavia, no dia 10 de armazenamento, o efeito da concentração de ES foi mais efetivo, fazendo com que as maçãs MP tratadas com o antioxidante apresentassem aumento da taxa respiratória após os 10 dias de armazenamento.

Figura 36. Taxa respiratória (média de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas) em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2019/2020.



* significativo a 5%.

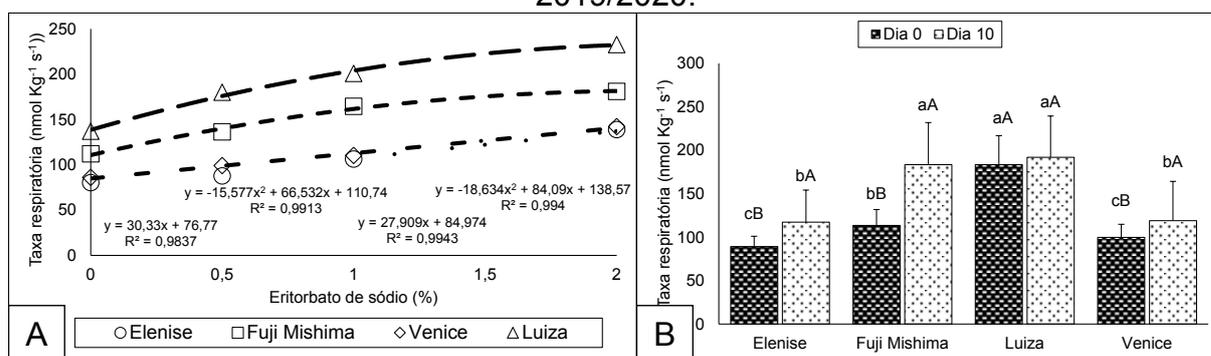
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Em relação à taxa respiratória das cultivares, o efeito da concentração de ES foi semelhante, onde o aumento da concentração aumentou a respiração em todas as cvs (Figura 37A). Em qualquer das concentrações de ES, a taxa respiratória das maçãs 'Luiza' foi a maior enquanto a taxa respiratória das maçãs 'Elenise' e 'Venice' foi menor. As maçãs das cultivares Fuji Mishima e especialmente Luiza foram as que apresentaram maior escurecimento da polpa. Estas maçãs também foram as que apresentaram maiores taxas respiratórias. Putnik et al., (2016) verificaram uma correlação semelhante entre a produção de CO₂ e a mudança de cor na polpa de maçãs MP. A respiração resulta em modificações profundas de constituintes dos frutos, como proteínas, ácidos orgânicos, vitaminas e minerais, e podem acelerar processos indesejáveis sob ponto de vista da qualidade, incluindo o escurecimento da polpa das maçãs MP (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Quanto ao período de armazenamento, as maçãs MP de todas as cultivares apresentaram maior taxa respiratória após os 10 dias de armazenamento, com exceção da cv Luiza, a qual não diferiu entre os períodos de armazenamento 0 e 10 dias (Figura 37B). De acordo com Manurakchinakorn et al. (2012), a redução de O₂ e o aumento de CO₂, consequência do processo respiratório, são detectáveis nas frutas MP, mesmo que armazenadas em recipientes permeáveis às trocas gasosas. Embora as maçãs 'Luiza' não tenham apresentado aumento da taxa respiratória após os 10

dias em armazenamento, essas maçãs já apresentavam as maiores taxas respiratórias desde o dia do processamento dos frutos e manteve as taxas elevadas.

Figura 37. Taxa respiratória de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas (média dos períodos 0 e 10 dias de armazenamento em BOD – A, e média de quatro concentrações de ES – B) em função da concentração de ES. Safra 2019/2020.



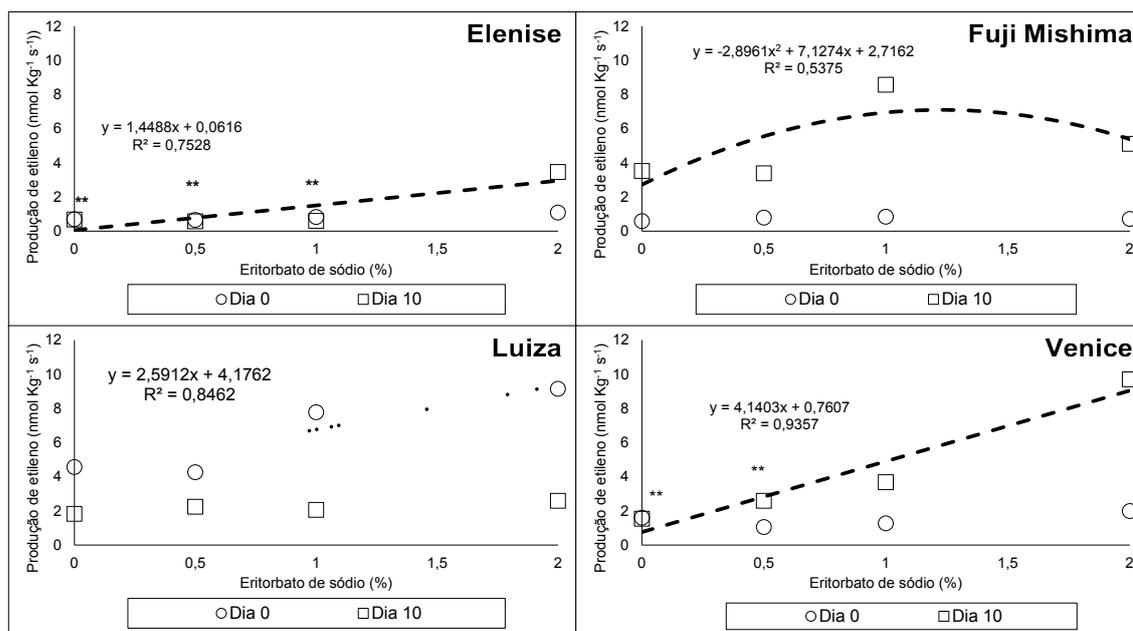
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Para a produção de etileno, as maçãs MP das diferentes cultivares apresentaram resultados variados, influenciados principalmente pelas características genéticas de cada uma, como também podem ter sido influenciados pelas condições de maturação na colheita. No dia do processamento dos frutos, as maçãs da cv. Luiza foram as que apresentaram maior produção de etileno em relação às demais cultivares (Figura 38). Além disso, as maçãs desta cultivar apresentaram aumento na produção de etileno conforme foi aumentada a concentração de ES no período de 0 dias e tiveram também redução na produção de etileno após os 10 dias de armazenamento, independentemente da concentração de ES. No dia 10 de armazenamento, as maçãs 'Fuji Mishima' e 'Venice' foram as que apresentaram maior produção de etileno em relação às demais. As maçãs destas cultivares, juntamente com as da 'Elenise', apresentaram aumento na produção de etileno conforme maior a concentração de ES, aos 10 dias de armazenamento. Nas maçãs das três cultivares, a concentrações de ES não influenciou a produção de etileno no dia 0 de armazenamento. Maçãs 'Fuji Mishima' apresentaram aumento na produção de etileno após os 10 dias de armazenamento, em qualquer das concentrações de ES. Já na cultivar Venice, a produção de etileno das maçãs MP aumentou após 10 dias de armazenamento somente nas concentrações de 1 e 2% de ES, enquanto nas maçãs 'Elenise', só ocorreu aumento da produção de etileno na concentração de 2% de ES.

As primeiras respostas dos produtos minimamente processados ao ferimento incluem aumento tanto na respiração quanto na produção de etileno devido à resposta inicial ao estresse, com conseqüente redução dessas taxas para um valor de equilíbrio (FINNEGAN et al. 2013; MAHAJAN et al. 2014). Esse comportamento padrão em frutos MP, é observado apenas nas maçãs 'Luiza', sendo que as maçãs 'Fuji Mishima', 'Venice' e 'Elenise' apresentaram aumento da produção de etileno justamente alguns dias após o processamento dos frutos. Esse retardo no aumento da respiração e da produção de etileno pode ser uma característica genética destas cultivares e que pode estar diretamente relacionado a menor deterioração enzimática das mesmas, uma vez que uma menor taxa respiratória pode significar um metabolismo menos acelerado, bem como uma menor velocidade de deterioração dos frutos. Já a menor produção de etileno pode estar relacionada a uma menor produção de enzimas oxidativas, já que o etileno pode estar envolvido na ativação de genes ligados à produção das enzimas PPO e POD (ESPLEY et al., 2019).

É curioso como o aumento da concentração de ES aumenta a produção de etileno das maçãs MP. O ácido ascórbico se correlaciona com a síntese de giberelinas, de etileno, ativa outros antioxidantes, se relaciona com a respiração celular e atua protegendo a planta de danos provocados pela luz ao proteger o fotossistema II (SMIRNOFF; WHEELER, 2000). O AA é capaz de agir como cofator, por conta da sua ação redutora, para várias enzimas importantes no metabolismo vegetal. Uma delas é a enzima ácido 1-aminociclopropano-1- carboxílico oxidase (ACC) (VERVERIDIS; JOHN, 1991). A ACC faz parte da via de síntese do etileno, atuando na última etapa do processo de formação deste hormônio. Dessa maneira, o AA participa da síntese do etileno (MURPHY et al., 2014). O ES como um estereoisômero do ácido ascórbico pode desempenhar essa mesma função no aumento da produção de etileno e ainda atuar como agente redutor, inibindo a deterioração enzimática da PPO nas maçãs MP, mantendo a coloração da polpa.

Figura 38. Produção de etileno de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ($5 \pm 0,5$ °C e UR de $80 \pm 8\%$). Safra 2019/2020.

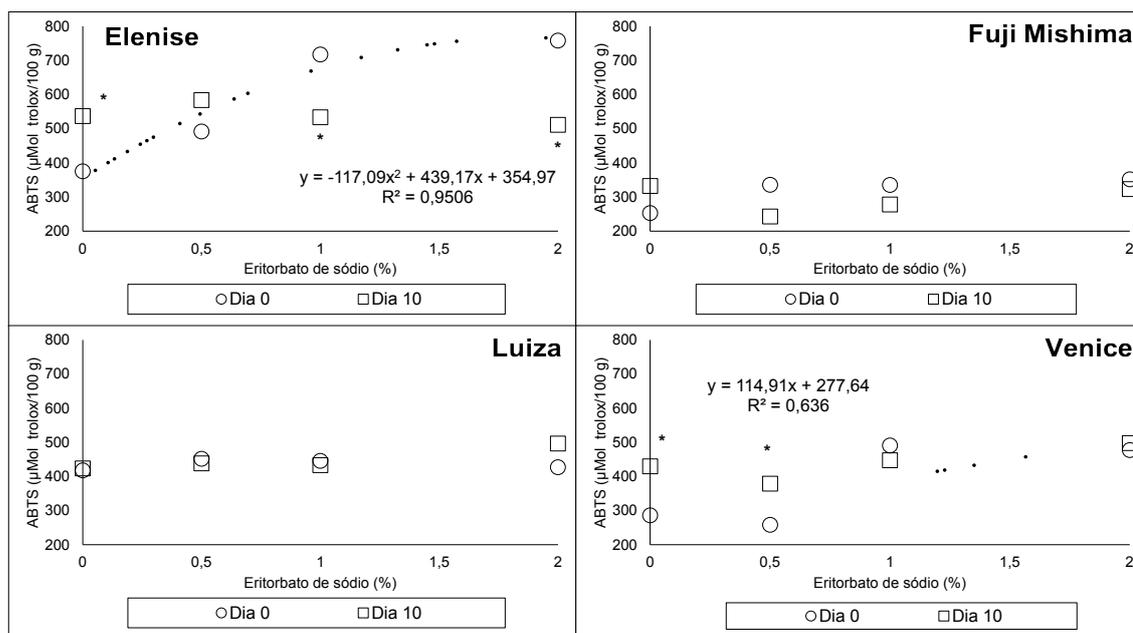


** não significativo

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

A AAT na polpa das maçãs MP, pelo método ABTS, foi influenciada pelo ES somente no dia do processamento dos frutos e nas cvs. Elenise e Venice, onde o aumento na concentração do ES aumentou a AAT das maçãs MP (Figura 39). No dia 10 de armazenamento em BOD, as maçãs MP não sofreram influência da concentração de ES. De maneira geral, a AAT na polpa das maçãs ‘Elenise’ foi maior em relação às demais cultivares, enquanto as maçãs ‘Fuji Mishima’ apresentaram as menores taxas de AAT. Além da função benéfica na preservação da qualidade dos frutos, os antioxidantes também possuem funções biológicas para humanos e animais, como propriedades imunomoduladoras e anti-inflamatórias (STAMOGIANNOU et al., 2021). Portanto, cultivares com maiores concentrações, bem com melhor preservação dessas propriedades, são importantes para manter a qualidade das maçãs MP e, conseqüentemente, o benefício à saúde dos consumidores (FANG et al., 2022).

Figura 39. Atividade antioxidante pelo método ABTS de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ($5 \pm 0,5$ °C e UR de $80 \pm 8\%$). Safra 2019/2020.



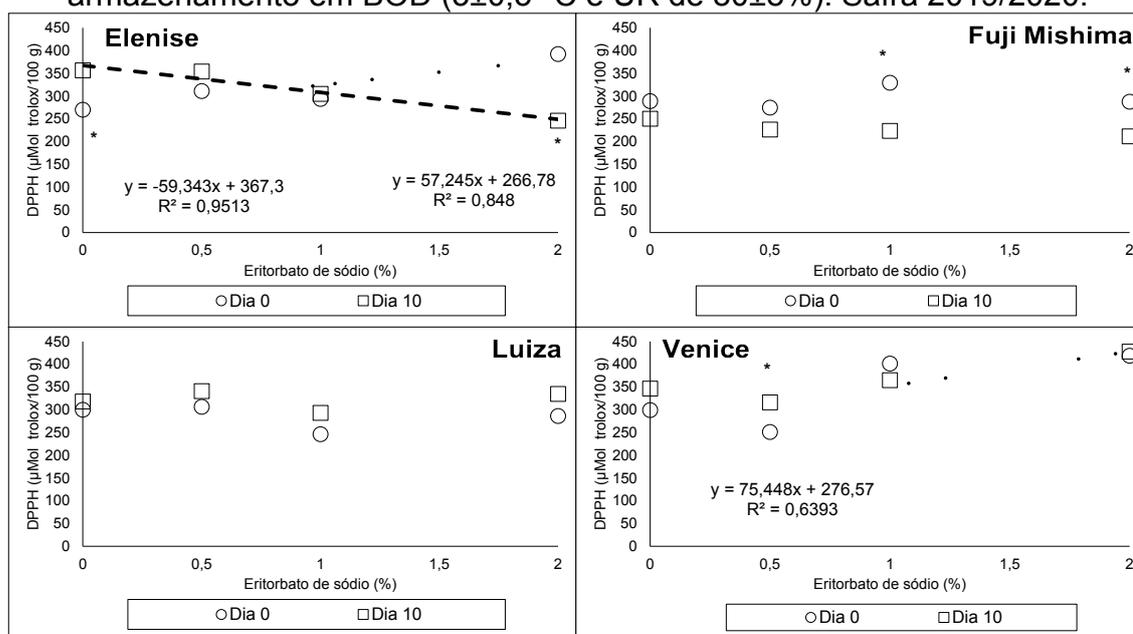
* significativo a 5%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

De maneira semelhante, a AAT das maçãs MP pelo método DPPH não foi influenciada pelo ES nas cultivares Fuji Mishima e Luiza, independentemente do período de armazenamento (Figura 40). No dia 0 de armazenamento em BOD, as maçãs das cvs. Elenise e Venice apresentaram um aumento na AAT com o aumento da concentração de ES, assim como no método ABTS. Todavia, diferente do método ABTS, as maçãs 'Elenise' apresentaram uma redução da AAT com o aumento da concentração de ES no dia 10 de armazenamento. Desta maneira, nesta cultivar, quando não foi aplicado o ES, ocorreu um aumento na AAT das maçãs MP após 10 dias de armazenamento. Por outro lado, quando foi aplicado ES na concentração de 2%, ocorreu uma redução na AAT das maçãs MP após este período de armazenamento. A redução da AAT nas maçãs 'Elenise' tratadas com 2% de ES após 10 dias de armazenamento é comum, pois os valores de AAT tendem a aumentar em amostras imersas em antioxidantes com seguida redução, atingindo níveis semelhantes aos das amostras não tratadas ao final do armazenamento refrigerado (COCCI et al., 2006). Todavia, o aumento da AAT nessas maçãs sem o tratamento de ES após os 10 dias de armazenamento pode estar relacionado a outros compostos formados pela oxidação parcial de polifenóis que possuem maior atividade sequestrante de radicais e conferem ATT maior (COCCI et al., 2006). Esses compostos poderiam ter sido formados até mesmo pela ação das enzimas PPO e POD.

Assim como no método ABTS, as maçãs ‘Fuji Mishima’ apresentaram, de maneira geral, menor AAT (Figura 40). Entretanto, as maçãs ‘Venice’ foram as que apresentaram maior AAT pelo método DPPH.

Figura 40. Atividade antioxidante pelo método DPPH de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2019/2020.



* significativo a 5%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

O aumento da concentração de ES aumentou o teor de CFT das maçãs MP de todas as cultivares em ambos os períodos de armazenamento (Figura 41). A carga antioxidante e o teor de CFT pode ser complementado pela imersão da fruta MP em soluções contendo antioxidantes exógenos e a preservação dos CFT ocorre porque o ES limita a produção de quinonas, eliminando o oxigênio do tecido antes de reagir com os compostos fenólicos (CLARK et al., 2009; AGUAYO et al., 2010; GRANT-PREECE et al., 2013). Todavia, as maçãs de cada cultivar apresentaram uma resposta diferente em relação às concentrações de ES e ao período de armazenamento. Maçãs ‘Elenise’ não sofreram influência do período de armazenamento, ou seja, o teor de CFT dos frutos MP não diferiu entre o dia do processamento e 10 dias após o armazenamento em BOD, independentemente da concentração de ES. Maçãs ‘Fuji Mishima’ apresentaram redução no teor de CFT após o armazenamento por 10 dias, apenas na concentração de 2% de ES. Já as maçãs ‘Luiza’ apresentaram uma redução no teor de CFT após o período de 10 dias

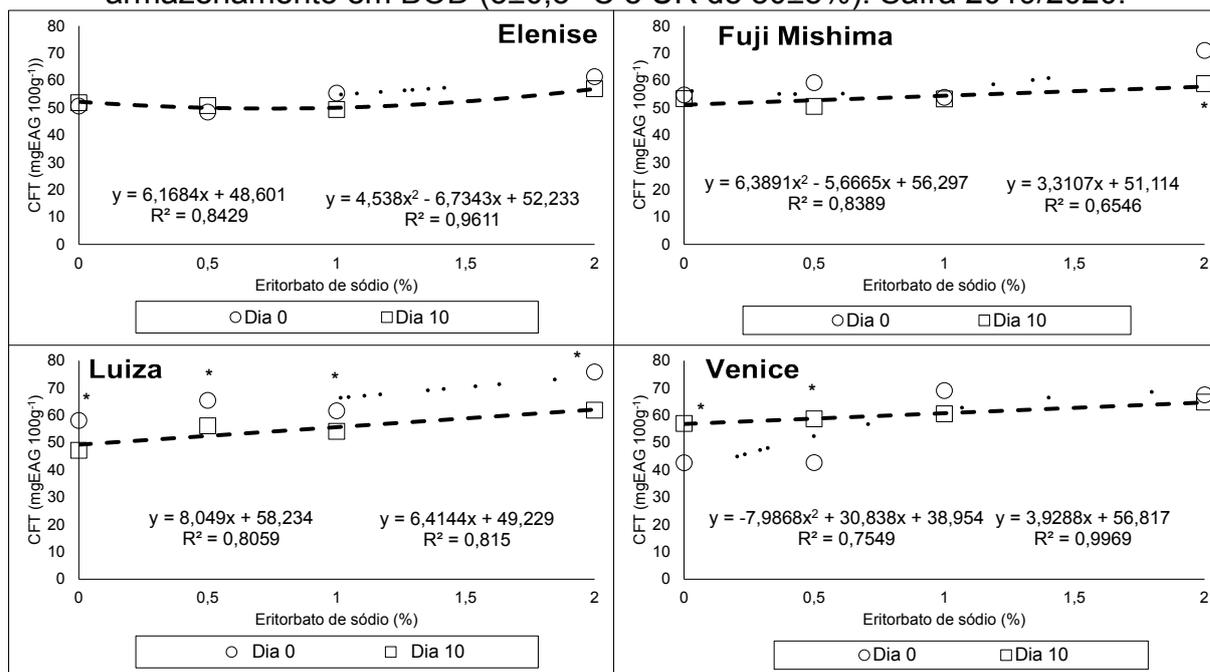
armazenadas em BOD, em todas as concentrações de ES. Por fim, de maneira diferente, as maçãs 'Venice' apresentaram aumento nos teores de CFT, em concentração baixa ou ausência de ES (0 e 0,5%) após o período de 10 dias de armazenamento em BOD. As atividades da PPO e as concentrações de substratos polifenólicos variam entre diferentes cultivares de maçã e estão relacionadas ao grau de escurecimento da polpa (HOLDERBAUM et al., 2010; KOLODZIEJCZYK et al., 2010; DEUTCH, 2018) É evidente nas maçãs 'Luiza', a redução de CFT com o aumento do escurecimento da polpa (ROCHA; MORAIS, 2003; HAMDAN et al., 2022). Já nas demais maçãs MP, que apresentaram escurecimento da polpa menor, a redução de CFT ao longo do armazenamento não ocorre.

Em relação às cultivares, observa-se que no dia 0 de armazenamento, os teores de CFT das maçãs 'Elenise' e 'Venice' foram os menores, enquanto os teores de CFT das maçãs 'Luiza' foram os maiores (Figura 41). Este resultado pode estar relacionado ao escurecimento da polpa sofrido pelas maçãs MP, uma vez que maçãs 'Elenise' e 'Venice' foram as que apresentaram menor escurecimento da polpa enquanto as maçãs 'Luiza' as que apresentaram maior escurecimento. Após o período de armazenamento de 10 dias, observa-se que os teores de CFT das maçãs 'Venice' aumentaram, desta maneira, esta cultivar, juntamente com as maçãs da cv. Luiza, apresentaram os maiores teores de CFT neste período de armazenamento. Ainda no período de 10 dias de armazenamento, as maçãs 'Elenise' seguiram, agora juntamente com as maçãs 'Fuji Mishima', com os menores teores de CFT. Embora altos níveis de CFT possam ser sinônimo de maior escurecimento enzimático da polpa de maçãs MP, alguns ácidos fenólicos e subclasses de flavonóides foram relatados como benéficos à saúde humana, tendo a capacidade de inibir a proliferação de células cancerígenas, reduzir a vascularização, proteger os neurônios, estimular a vasodilatação e melhorar a secreção de insulina (CARRASCO-SANDOVAL et al., 2021).

Além de seus benefícios à saúde e sua ação como substratos das enzimas PPO e POD, os CFT estão envolvidos nas vias fisiológicas e bioquímicas que envolvem o amolecimento da polpa, a síntese de pigmentos e a produção de compostos voláteis e aromáticos (SERRA et al., 2021). Esses compostos e seus processos metabólicos podem afetar a vida útil, bem como as qualidades sensoriais e organolépticas da fruta MP (DEVIC et al., 2010; TANG et al., 2020). A identificação dos perfis de fenóis é fundamental para entender o processo de escurecimento em

cada cultivar de forma particular, pois alguns polifenóis podem apresentar atividade antioxidante, evitando o escurecimento na polpa das maçãs, enquanto outros são o substrato utilizado pelas enzimas PPO e POD nas reações que ocasionam o escurecimento (TAPPI et al., 2019).

Figura 41. Teor de compostos fenólicos totais de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2019/2020.



* significativo a 5%

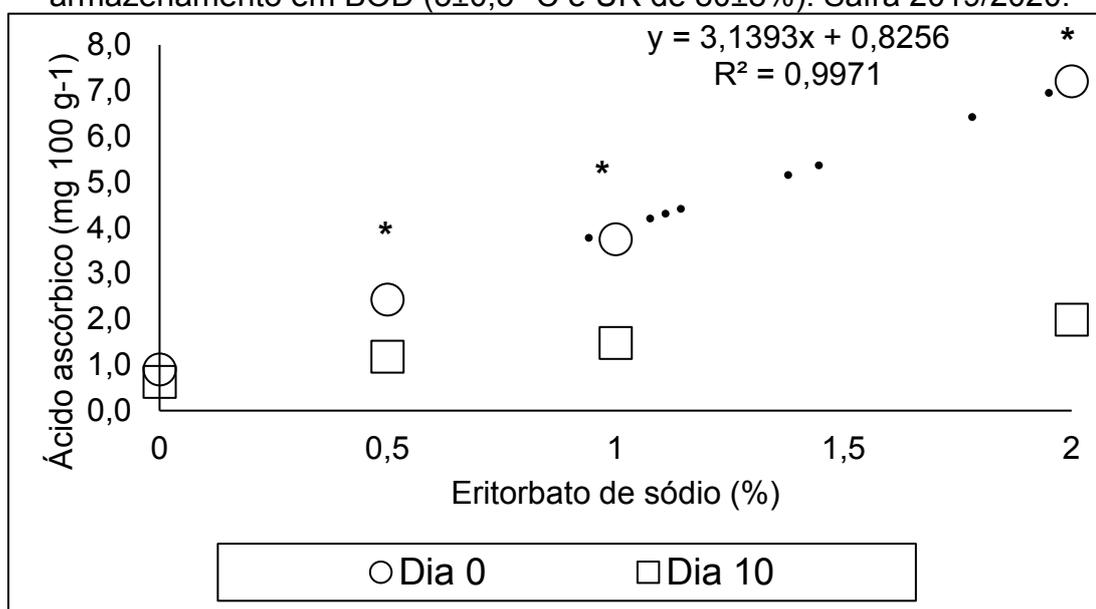
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

O ES ajudou a preservar o teor de AA na polpa das maçãs MP no dia do processamento, uma vez que o aumento da concentração do antioxidante resultou num crescimento linear de AA nos frutos durante este período (Figura 42). Segundo Loan e Manzano, 1993, o ES é considerado seguro para consumo humano, de baixo custo, bem aceito pelos consumidores e capaz de aumentar o teor de vitamina C dos frutos. Já no dia 10 de armazenamento, a concentração de ES não apresentou efeito sobre o teor de AA das maçãs MP. Desta maneira, maçãs MP tratadas com ES apresentaram consumo de AA após os 10 dias de armazenamento em BOD, uma vez que o teor de AA entre os dias 0 e 10 de armazenamento reduziu.

O AA possui um efeito bastante efetivo no tratamento anti-escurecimento de maçãs MP, no entanto ele é rapidamente oxidado (COCCI et al., 2006). Ainda segundo esses autores, mesmo o AA aplicado de forma exógena em maçãs MP pode ser

oxidado durante o primeiro dia de armazenamento. O AA, além de atribuir valor nutricional aos alimentos, também apresenta ação redutora. Juntamente com seus sais neutros compõe um dos principais grupos de antioxidantes empregados em produtos vegetais com o intuito de prevenir o escurecimento e outras reações oxidativas. O AA pode agir diretamente na estrutura da PPO e POD, complexando o cobre ou ferro da porção não proteica e, assim, inibindo as enzimas. Pode ainda reduzir as quinonas a compostos fenólicos, sendo estes estáveis e incolores (SAPERS; MILLER, 1998). A redução das quinonas aos seus precursores fenólicos leva à oxidação irreversível do AA (que é preferencialmente oxidado em relação aos compostos fenólicos) e à formação de ácido dehidro ascórbico sem atividade inibitória (SILVA; ROSA; VILAS BOAS, 2009). Segundo Reis et al. (2004) e Melo e Vilas Boas (2006), a eficiência deste agente antioxidante pode ser potencializada com a combinação de outros compostos como CaCl_2 , sais de sulfito e cisteína.

Figura 42. Teor de ácido ascórbico (média de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas) em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ($5\pm 0,5\text{ }^\circ\text{C}$ e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2019/2020.



* significativo a 5%

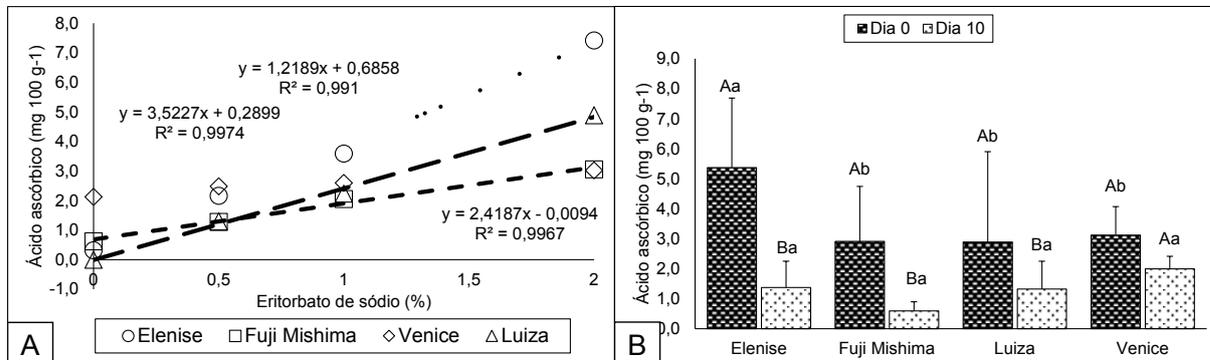
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

O efeito da concentração de ES em relação às cultivares foi semelhante, onde maçãs 'Elenise', 'Fuji Mishima' e 'Luiza' apresentaram teores crescentes de AA conforme maior a concentração de ES (Figura 43A). Apenas nas maçãs 'Venice' este antioxidante não apresentou efeito. As maçãs da cultivar Venice se mostram com grande potencial para o processamento mínimo, devido principalmente a sua baixa

taxa de escurecimento da polpa. Embora essas maçãs MP não tenham sofrido influência do ES no teor de AA, observa-se que seu teor de AA se manteve equilibrado, independentemente da concentração ou mesmo do uso de ES.

Já em relação às cultivares, observa-se que as maçãs da cv. Elenise apresentaram maior teor de AA na polpa (Figura 43B). Esse resultado deve-se muito ao efeito do ES na polpa das maçãs desta cultivar, pois o ES aumentou consideravelmente seu teor de AA. Destaca-se também as maçãs ‘Venice’, que mesmo sem sofrer influência do ES, apresentaram um teor de AA menor apenas que as maçãs ‘Elenise’. Outra consideração importante é que maçãs ‘Venice’ foram as únicas que não apresentaram decréscimo no teor de AA após 10 dias de armazenamento em BOD, indicando que maçãs da cultivar Venice tem capacidade maior de preservar o teor desta vitamina ao longo do período de armazenamento mesmo sem o efeito do ES.

Figura 43. Teor de ácido ascórbico de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas (média dos períodos 0 e 10 dias de armazenamento em BOD – A, e média de quatro concentrações de ES – B) em função da concentração de ES. Safra 2019/2020.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

O teor de AA e CFT das maçãs estudadas parecem estar bastante relacionados ao escurecimento da polpa. Conforme observado nos resultados, as cultivares de maçãs com maiores teores de AA apresentaram menor escurecimento da polpa, indicando a ação benéfica desta vitamina e o efeito importante do ES, que além de preservar o AA, também pode exercer funções semelhantes (COCCI et al., 2006; CLARK et al., 2009). O AA é um antioxidante efetivo na inibição do escurecimento enzimático na polpa das maçãs, podendo agir tanto na enzima quanto nos produtos formados pela ação da mesma (WEN et al., 2021). É possível que o AA atue de maneira mais rápida nestas cultivares em que está em maior quantidade, evitando um

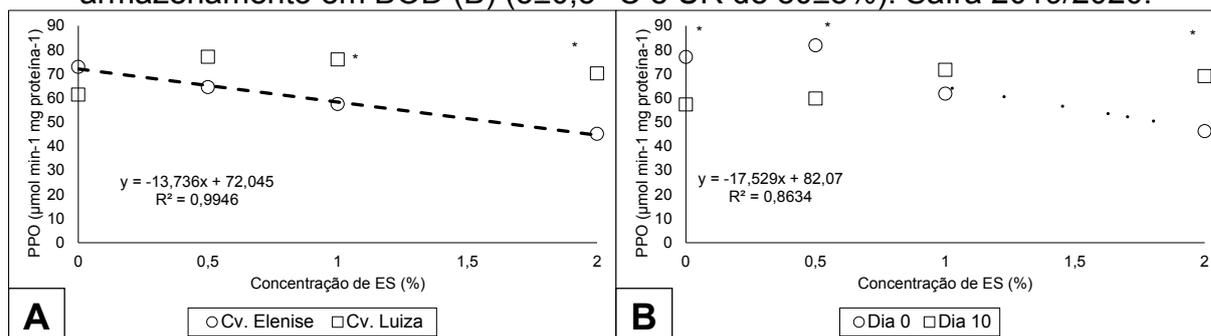
escurecimento de polpa inicial e mantendo as enzimas inativas por maior tempo. Por outro lado, as cultivares de maçãs com maiores teores de CFT apresentaram maior escurecimento da polpa, indicando que é possível que estas cultivares apresentem elevados teores de polifenóis que são substratos à PPO na reação de escurecimento enzimático ao invés de polifenóis com ação antioxidante, capaz de prevenir o escurecimento da polpa (RODRÍGUEZ-ARZUAGA; RIOS; PIAGENTINI, 2019).

Em relação a atividade enzimática da PPO, observa-se que os frutos MP da cv. Elenise apresentaram uma boa resposta ao ES, pois o aumento da concentração deste antioxidante resultou em redução da atividade da PPO nas maçãs MP (Figura 44A). As maçãs da cultivar Elenise também apresentaram boa resposta ao ES em relação aos atributos de escurecimento da polpa, AAT, CFT e teor de AA. Já as maçãs 'Luiza' não sofreram influência da concentração de ES na atividade da PPO. Desta forma, devido à ação do ES na redução da atividade desta enzima nas maçãs 'Elenise', nas concentrações maiores de ES (1 e 2 %), as maçãs 'Luiza' apresentaram uma atividade da PPO maior em relação aos frutos MP de 'Elenise'. Segundo Tappi et al., 2019, diferentes cultivares de maçã apresentam atividades variadas das enzimas PPO e POD e geralmente maior atividade da PPO significa maior escurecimento na polpa de maçãs MP.

O aumento na concentração de ES provocou redução na atividade da enzima PPO das maçãs MP no período de 0 dias de armazenamento, enquanto no dia 10 de armazenamento, a concentração de ES não apresentou influência na atividade da PPO (Figura 44B). Em relação à influência do período de armazenamento na atividade da PPO das maçãs MP, observa-se que esta enzima apresentou redução de sua atividade após 10 dias de armazenamento em BOD quando a concentração de ES foi baixa ou ausente (0 e 0,5 %). Todavia, na concentração de 2% de ES a atividade da PPO nos frutos MP aumentou após o período de 10 dias armazenados. Esse aumento da atividade da PPO na polpa das maçãs MP após o período de 10 dias de armazenamento é devido ao efeito redutor de ES na atividade desta enzima no dia do processamento dos frutos, o qual reduziu o escurecimento da polpa e preservou seus substratos, enquanto na ausência ou baixa concentração de ES (0,5%), ocorreu alta atividade desta enzima logo após o processamento dos frutos com consequente redução à medida que ocorreu o escurecimento na polpa das maçãs MP. Segundo Le Bourvellec et al. (2004), os produtos da oxidação do ácido cafeoilquínico e epicatequina também atuam como inibidores da PPO, no entanto, esses produtos já

escureceram a polpa das maçãs MP, pois são de coloração marrom. Sob o aspecto nutricional, o problema do escurecimento enzimático deve-se à possibilidade das quinonas interagirem com grupos amina e tiol, reduzindo a disponibilidade da lisina, metionina, tiamina e outros nutrientes essenciais (SILVA; ROSA; VILAS BOAS, 2009)

Figura 44. Atividade da enzima PPO na polpa de maçãs minimamente processadas 'Elenise' e 'Luiza' em função da cultivar (A), da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD (B) ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2019/2020.



* significativo a 5%

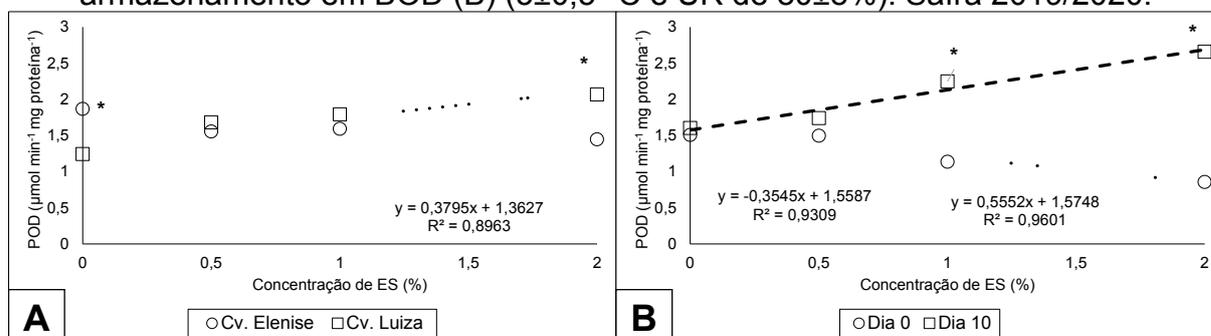
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Para a atividade da enzima POD, a concentração de ES foi significativa apenas nos frutos MP da cv. Luiza, onde o aumento da concentração do antioxidante resultou em aumento enzimático de POD (Figura 45A). Desta maneira, a atividade enzimática em maçãs MP que não receberam ES foi maior na cultivar 'Elenise' enquanto maçãs MP com a concentração de 2% de ES apresentaram maior atividade de POD na cultivar 'Luiza'. Do mesmo modo que a PPO, a POD tem atividade típica na reação de oxidação de compostos fenólicos em presença de peróxido de hidrogênio e também são obtidas quinonas como produto (SILVA; ROSA; VILAS BOAS, 2009). As enzimas POD apresentam em sua estrutura um grupo não proteico formado por íons de ferro. Durante o processo catalítico, o H_2O_2 oxida o íon Fe^{3+} em estados de maior valência (Fe^{4+} ou Fe^{5+}). Estes possuem alto potencial oxidante, reduzindo-se instantaneamente quando o substrato orgânico da peroxidase é oxidado, neste caso, um composto fenólico (RICHARDSON; HYSLOP, 2000). Para maçãs, a temperatura ótima de ação destas enzimas é 30 °C (ZHOU et al., 1993). Assim, em temperaturas baixas (5° C), o complexo enzima-substrato é dificultado pela diminuição da energia cinética das ligações químicas (LEE et al., 1995). Neste sentido, a utilização de controles físicos, como uma cadeia de frio bem controlada pode ajudar a evitar o escurecimento

enzimático de maçãs MP e reduzir a necessidade e concentração de agentes químicos.

A atividade de POD das maçãs MP foi afetada pela concentração de ES, e de forma diferente, em ambos os períodos de armazenamento (Figura 45B). No dia 0 de armazenamento, o aumento da concentração de ES resultou em decréscimo da atividade de POD na polpa das maçãs MP enquanto no dia 10 de armazenamento, o aumento da concentração do antioxidante resultou num acréscimo da atividade enzimática. Desta maneira, as concentrações mais altas de ES (1 e 2%) aumentaram a atividade enzimática de POD na polpa das maçãs MP após os 10 dias de armazenamento em BOD. A redução da atividade da POD no dia 0 de armazenamento está de acordo com os resultados relatados por Jang e Moon (2011), onde a presença de AA reduziu efetivamente a atividade de POD em maçãs MP, uma vez que neste período o ES preveniu a oxidação do AA dos frutos MP. A atividade reduzida de POD em frutos MP tratados com ES pode ser o resultado de menor estresse oxidativo na superfície do fruto, devido à natureza antioxidante do AA molecular e seu estereoisômero ES; também poderia ser resultado da formação do complexo doador de POD-hidrogênio (SABA; SOGVAR, 2016). Já o aumento da atividade de POD na polpa das maçãs MP após o período de 10 dias de armazenamento nas concentrações de 1 e 2% de ES pode ser devido ao esgotamento de AA, que neste período já era baixo. Ribeiro et al., (2019a) também observaram um aumento na atividade de POD ao longo do armazenamento de maçãs MP, independentemente da aplicação de antioxidantes.

Figura 45. Atividade da enzima POD na polpa de maçãs minimamente processadas 'Elenise' e 'Luiza' em função da cultivar (A), da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD (B) ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2019/2020.



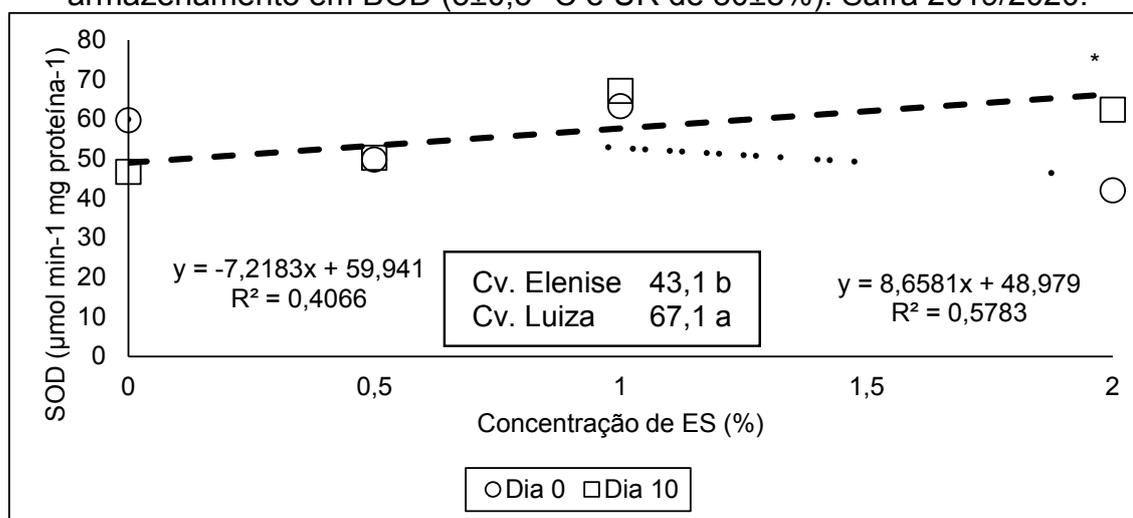
* significativo a 5%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

A atividade da enzima SOD das maçãs MP apresentou um efeito similar à da enzima POD, onde, no dia 0 de armazenamento, o aumento da concentração de ES diminuiu a atividade enzimática e no dia 10 de armazenamento, o aumento da concentração de ES aumentou a atividade de SOD (Figura 46). Assim, na concentração de 2% de ES, as maçãs MP também aumentaram a atividade de SOD após os 10 dias de armazenamento em BOD. O ES deve atuar na redução de ERO, reduzindo a atividade das enzimas oxidativas POD e SOD; o ES também deve atuar mantendo os níveis de antioxidantes naturais dos frutos, devido sua ação redutora. Todavia, após 10 dias, a ação de ES reduz, devido seu esgotamento e a atividade das enzimas POD e SOD aumentam. A produção de ERO ocorre quando parte dos elétrons da cadeia respiratória, no processo de respiração celular, se esquivam do sistema e há uma redução do oxigênio molecular (MITTLER, 2002). No entanto, o escurecimento enzimático causado pelas enzimas PPO e POD também podem contribuir com a formação de ERO (QI et al., 2019).

De maneira geral, a SOD nas maçãs 'Luiza' apresentou uma atividade enzimática mais alta em relação às maçãs 'Elenise' (Figura 46). Observa-se que as cultivares apresentaram valores diferentes de CFT. Para Alonso-Salces et al. (2004), há uma grande variação no perfil fenólico entre cultivares de maçãs, que afetam tanto as características sensoriais quanto enzimáticas de seus produtos.

Figura 46. Atividade da enzima SOD na polpa de maçãs minimamente processadas 'Elenise' e 'Luiza' em função da cultivar, da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2019/2020.



* significativo a 5%

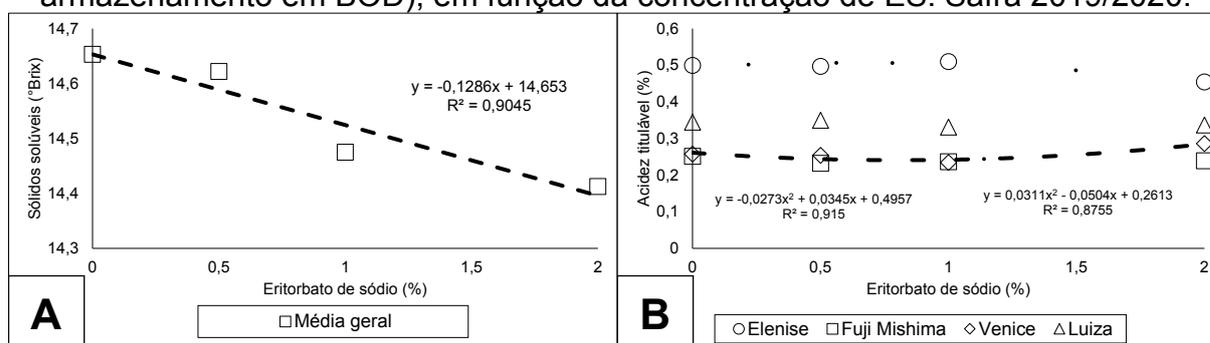
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

4.3.2 Maçãs MP depois do AR de 100 dias

Nas maçãs MP que foram armazenadas por 100 dias em câmara fria antes do processamento dos frutos, observou-se uma pequena variação nos resultados de SS e AT após a repetição dos procedimentos de processamento mínimo e tratamentos. O teor de SS apresentou uma redução linear conforme aumentou-se a concentração de ES (Figura 47A). Reduções no teor de SS também pode ser atribuído ao aumento da taxa respiratória, uma vez que o ES também agiu aumentando a taxa respiratória das maçãs MP (PIZATO et al., 2013).

Já para a AT, a concentração de ES apresentou influência apenas nas maçãs das cultivares Elenise e Venice, onde, aumentando a concentração de ES, observou-se uma pequena redução no teor de ácido málico das maçãs ‘Elenise’ e um pequeno aumento nas maçãs ‘Venice’ (Figura 47B). De maneira geral, também se observou uma redução da AT e um aumento no teor de SS das maçãs MP depois de 100 dias em AR, em comparação com as maçãs MP depois de 5 dias em AR. Segundo Sadler e Murphy (1998), tanto no período de pós-colheita quanto no de armazenamento, a concentração de ácidos orgânicos pode ser reduzida devido à sua utilização como substrato na respiração ou sua transformação em açúcares (FAGUNDES; CARCIOFI; MONTEIRO, 2013).

Figura 47. Sólidos solúveis (A) e acidez titulável (B) de quatro cultivares de maçãs que permaneceram 100 dias em AR ($0,5\pm 0,2$ °C e UR de $85\pm 5\%$) e em seguida foram minimamente processadas (média dos períodos 0 e 10 dias de armazenamento em BOD), em função da concentração de ES. Safra 2019/2020.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

A concentração de ES não afetou a perda de massa das maçãs MP, diferentemente das maçãs MP depois de 5 dias em AR. Todavia, novamente as maçãs

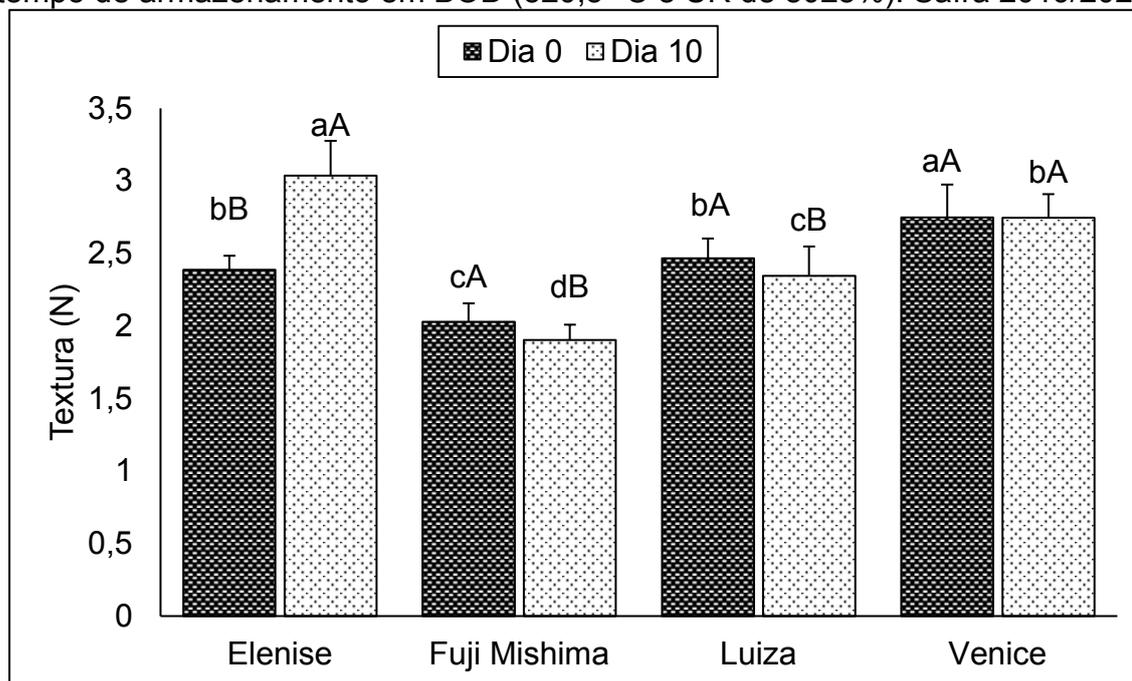
'Fuji Mishima' foram as que apresentaram menor perda de massa após 10 dias armazenadas em BOD (dados não apresentados).

Em relação à força para penetração da polpa das maçãs MP, a concentração de ES não teve efeito significativo nas maçãs das cvs. Fuji Mishima e Luiza (dados não apresentados). Maçãs 'Elenise' apresentaram uma redução linear na força para penetração da polpa com o aumento da concentração de ES, enquanto maçãs 'Venice' apresentaram um aumento quadrático na força requerida.

O comportamento da força para penetração da polpa das maçãs MP em relação ao período de armazenamento foi um pouco diferente em relação ao comportamento apresentado nas maçãs MP depois de 5 dias em AR. Maçãs 'Fuji Mishima' foram, novamente, as maçãs que necessitaram de menor força para penetração da polpa (Figura 48). Todavia, as maçãs 'Venice' e 'Elenise' foram as que necessitaram de maior força para penetração da polpa. Em relação à diferença de textura após 10 dias de armazenamento em BOD, as maçãs 'Elenise' e 'Luiza' apresentaram o mesmo comportamento que tinham antes do armazenamento, sendo que, para a cv Elenise, houve aumento da força necessária para penetração da polpa, e para a cv. Luiza houve redução da força necessária. Já as maçãs da cv. Fuji Mishima apresentaram redução na força necessária para penetração da polpa e as maçãs 'Venice' não apresentaram diferenças na força requerida, após 10 dias de armazenamento. De acordo com Moreno et al. (2016), o prolongamento do tempo de armazenamento das maçãs 'Fuji' sob refrigeração promove aumento da suscetibilidade ao escurecimento e amolecimento após o processamento a partir de 78 dias de armazenamento. Contudo, de acordo com os mesmos autores, o uso de aditivos no processo contribui para evitar esses problemas. Alguns autores creditam a manutenção da qualidade de frutos minimamente processados ao CaCl_2 . Carvalho e Lima (2002), utilizaram CaCl_2 1% e observaram que kiwis MP durante 10 dias de armazenamento sob temperatura de 1°C e 85% de umidade relativa mantiveram a qualidade. Luna-Guzmán et al. (1999), observaram maiores valores de firmeza no tratamento de imersão em solução de CaCl_2 5% quando comparados aos tratados com CaCl_2 2,5% e 1%, em melões 'Cantaloupe' MP. O CaCl_2 fortalece a parede celular e a lamela média dos tecidos da maçã MP (VARELA; SALVADOR; FISZMAN, 2007).

Figura 48. Força para penetração da polpa de quatro cultivares de maçãs que permaneceram 100 dias em AR ($0,5\pm 0,2^\circ\text{C}$ e UR de $85\pm 5\%$) e em seguida foram

minimamente processadas (média de quatro concentrações de ES), em função do tempo de armazenamento em BOD ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2019/2020.

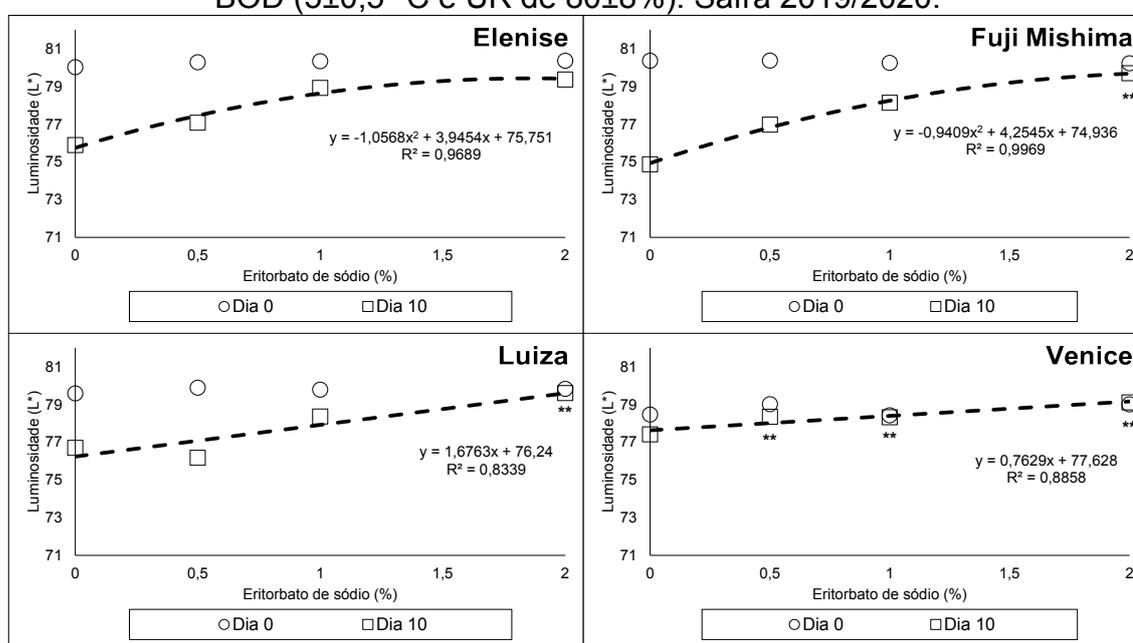


Letras minúsculas iguais nas barras escuras, letras minúsculas iguais nas barras claras e barras unidas com a mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

A luminosidade da polpa das maçãs foi influenciada por todos os fatores considerados. O aumento da concentração de ES, assim como nas maçãs MP depois de 5 dias em AR, proporcionou maior luminosidade da polpa das maçãs de todas as cultivares no dia 10 de armazenamento em BOD e não apresentou efeito no dia 0 de armazenamento (Figura 49). Já em relação ao período de armazenamento em BOD, maçãs MP de cada cultivar apresentaram uma alteração de luminosidade distinta. Nas maçãs 'Elenise', independentemente da concentração de ES, ocorreu redução da luminosidade da polpa após os 10 dias de armazenamento em BOD. Maçãs 'Fuji Mishima' e 'Luiza' não apresentaram perda de luminosidade após 10 dias de armazenamento em BOD na concentração de 2% de ES. Já as maçãs 'Venice' só apresentaram redução de luminosidade após 10 dias quando não foi aplicado ES, uma vez que qualquer concentração do antioxidante preservou a luminosidade na polpa das maçãs desta cultivar. Desta maneira, avaliando as cultivares, observa-se que no período de 0 dias de armazenamento, independentemente da concentração de ES, as maçãs da cv. Venice foram as que apresentaram menor luminosidade da polpa. Todavia, no dia 10 de armazenamento, as maçãs dessa mesma cultivar passaram a apresentar a maior luminosidade da polpa nas concentrações de 0 e 0,5

% de ES. Esse resultado mostra novamente que naturalmente a manutenção da luminosidade da polpa na cultivar Venice é maior em relação às demais cultivares, mesmo sem a ação do ES. Já nas concentrações maiores de ES (1 e 2%), não houve diferenças na luminosidade da polpa das maçãs MP entre as cultivares, no dia 10 de armazenamento em BOD. Segundo Rojas-Grau et al., (2008), o estágio de maturação e o tempo de AR influencia nos valores de luminosidade, tonalidade e textura da polpa de maçãs MP.

Figura 49. Luminosidade da polpa de quatro cultivares de maçãs que permaneceram 100 dias em AR ($0,5 \pm 0,2$ °C e UR de $85 \pm 5\%$) e em seguida foram minimamente processadas, em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ($5 \pm 0,5$ °C e UR de $80 \pm 8\%$). Safra 2019/2020.



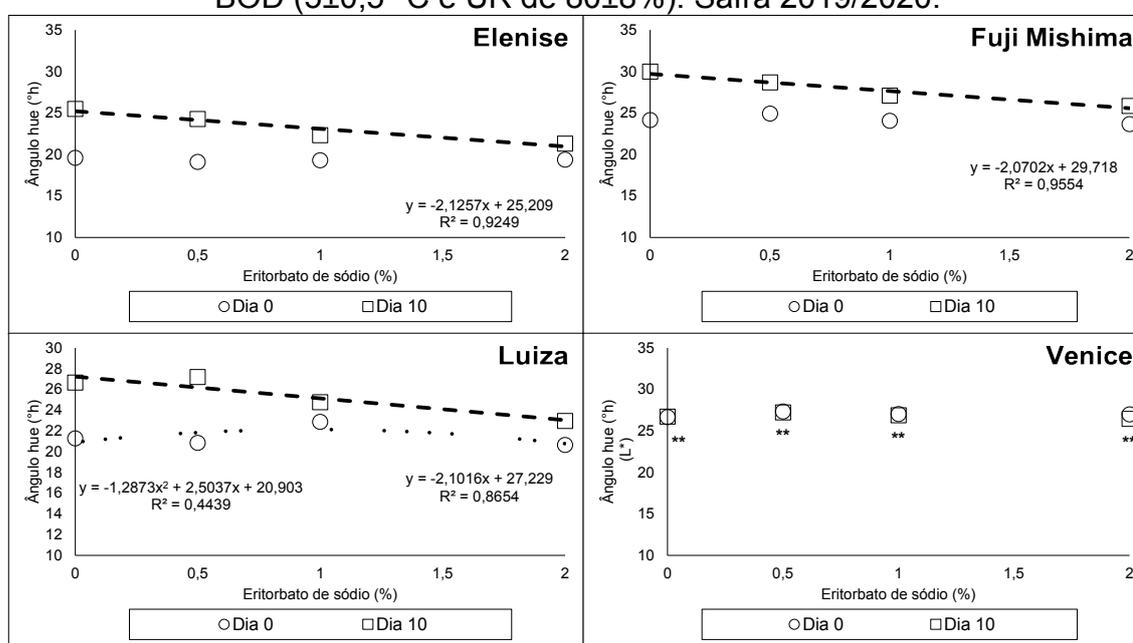
** não significativo

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

A tonalidade da polpa das maçãs MP também foi influenciada pelos fatores concentração de ES, período de armazenamento e cultivar. Assim como nas maçãs MP depois de 5 dias em AR, as maçãs da cultivar Venice não sofreram influência da concentração de ES na alteração da tonalidade da polpa, em ambos os períodos avaliados e as maçãs das demais cultivares apresentaram uma alteração de tonalidade, sendo essa alteração menor conforme maior a concentração de ES após 10 dias de armazenamento (Figura 50). Diferente do que ocorreu com as maçãs MP depois de 5 dias em AR, as cultivares Fuji Mishima e Elenise não sofreram influência da concentração de ES no dia do processamento dos frutos, em relação à tonalidade

da polpa, enquanto as maçãs da cv Luiza apresentaram alteração de tonalidade da polpa no dia 0 de armazenamento em função da concentração de ES. Novamente, as maçãs das cultivares Elenise, Fuji Mishima e Luiza apresentaram alterações na tonalidade da polpa após o período de 10 dias de armazenamento em BOD, independentemente da concentração de ES. Entretanto, as maçãs ‘Venice’ mantiveram a tonalidade da polpa após os 10 dias de armazenamento, em qualquer concentração de ES, inclusive na ausência do antioxidante.

Figura 50. Ângulo *hue* da polpa de quatro cultivares de maçãs que permaneceram 100 dias em AR ($0,5\pm 0,2$ °C e UR de $85\pm 5\%$) e em seguida foram minimamente processadas, em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2019/2020.



** não significativo

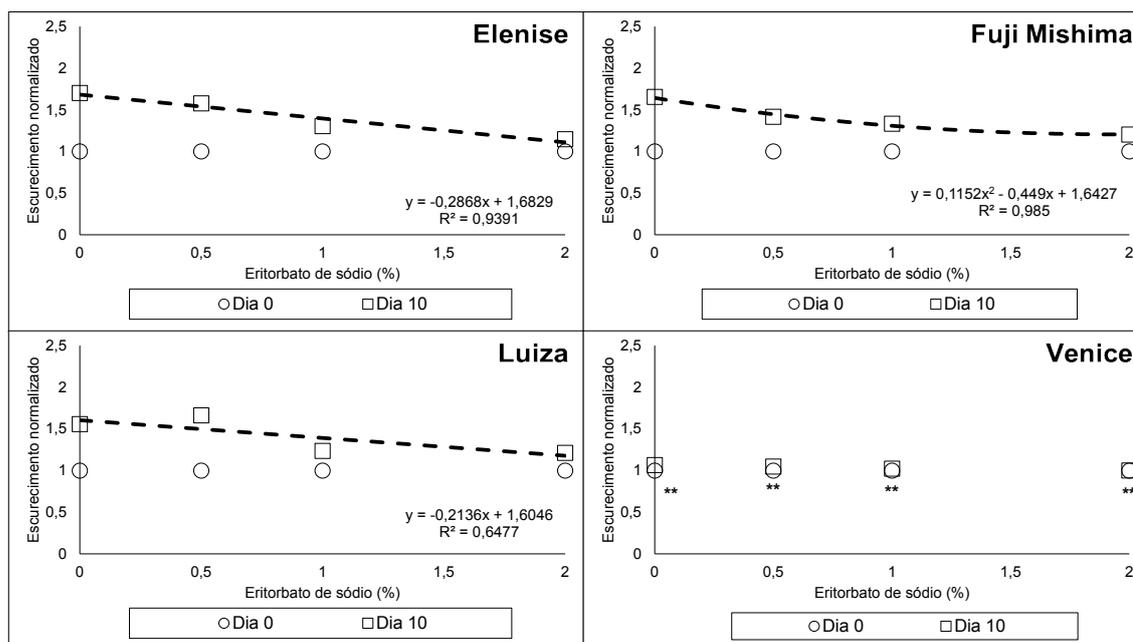
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Em relação ao escurecimento da polpa, observa-se que as maçãs MP das cultivares Elenise, Fuji Mishima e Luiza, apresentaram um comportamento semelhante quando processadas depois de 5 dias em AR. As maçãs dessas três cultivares, independentemente da concentração de ES, apresentaram escurecimento da polpa após 10 dias de armazenamento (Figura 51). Além disso, o aumento da concentração de ES apresentou um efeito de redução de escurecimento da polpa das maçãs destas cultivares, após o período de 10 dias de armazenamento. Todavia, as maçãs da cultivar ‘Venice’ apresentaram um comportamento diferente depois do AR por 100 dias. O escurecimento da polpa das maçãs desta cultivar, não foi influenciado

pela concentração de ES em ambos os períodos de armazenamento em BOD, bem como, não sofreu influência do período de armazenamento em BOD, ou seja, as maçãs 'Venice' não sofreram escurecimento da polpa após 10 dias de armazenamento, mesmo sem a utilização de ES. Para entender o não escurecimento da polpa das maçãs 'Venice' é preciso avaliar a luminosidade e o ângulo *hue* da polpa das suas maçãs. Naturalmente, esses atributos nas maçãs 'Venice' são menores e maiores, respectivamente, em relação às demais cultivares. Isso significa que naturalmente suas maçãs já são mais "escuras" e também apresentam uma tonalidade com tendência maior ao amarelo (Figura 52). Todavia, vale destacar também que as maçãs desta cultivar apresentam altos níveis de AA e AAT, além de teores menores de CFT. Desta maneira, a ação enzimática que causa escurecimento e mudança na tonalidade da polpa das maçãs MP é pouco perceptível na polpa das maçãs 'Venice', uma vez que sua tonalidade natural já é mais próxima da tonalidade de uma maçã escurecida e a composição dos seus frutos favorece o menor escurecimento enzimático. Isso pode significar que as maçãs da cv Venice tem grande potencial para o processamento mínimo por conta da manutenção da cor da polpa dos seus frutos. As preferências do consumidor em relação a um tipo de fruta são muitas vezes dependentes da cultivar e definidas pelo estágio de maturação (HOLDERBAUM et al., 2010). A cultivar Venice apresenta frutos com bons níveis de SS e AT, boa firmeza e suculência (DE MARTIN et al., 2018).

Em relação às cultivares, observa-se que as maçãs 'Venice', com um escurecimento quase nulo, são as que apresentaram menor escurecimento da polpa em relação às demais, que por sua vez, não apresentaram diferenças entre si, independentemente da concentração de ES utilizada (Figuras 51 e 52). Embora o escurecimento pareça ser específico da cultivar, outros fatores de pré-colheita, como maturação do fruto, idade da planta, condições geográficas e variação sazonal, podem afetar a concentração fenólica e o potencial de escurecimento de uma fruta. Isso pode representar uma explicação das diferenças de escurecimento em cultivares individuais se comportando de maneira diferente depois do período de 100 dias em AR (BEAULIEU et al., 2002; SILVA; ROSA; VILAS BOAS, 2009).

Figura 51. Escurecimento da polpa de quatro cultivares de maçãs que permaneceram 100 dias em AR ($0,5 \pm 0,2$ °C e UR de $85 \pm 5\%$) e em seguida foram minimamente processadas, em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ($5 \pm 0,5$ °C e UR de $80 \pm 8\%$). Safra 2019/2020.



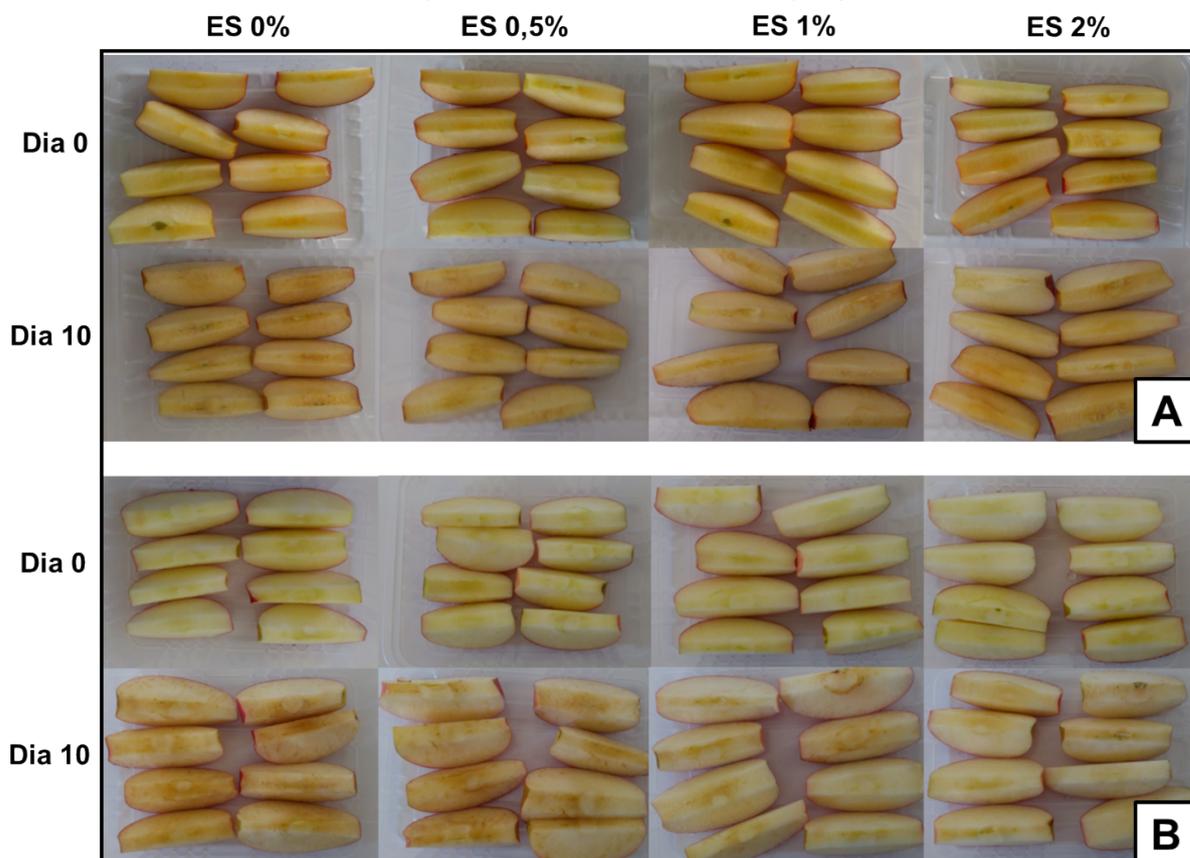
** não significativo

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Na avaliação da ΔE da polpa das maçãs MP, é possível verificar a mudança de cor ocorrida depois do período em que as maçãs ficaram em AR (Figura 53). As maçãs de todas as cultivares apresentaram mudança de cor depois dos 100 dias em AR, com destaque para as maçãs 'Luiza' e 'Venice' que, entre todas, foram as que mais mudaram de cor na polpa antes do processamento. Este resultado também pode justificar o fato das maçãs 'Venice' não apresentarem escurecimento e alteração de luminosidade e tonalidade da polpa após o processamento mínimo e o armazenamento em BOD, pois a ΔE ocorrida nos frutos depois dos 100 dias em AR pode ter reduzido a percepção do escurecimento que ocorreu após o processamento mínimo (Figura 52). Um ponto negativo em relação a este resultado é que maçãs 'Venice' podem apresentar um escurecimento da polpa durante o AR em câmaras frias que pode comprometer a viabilidade para o mercado MP. Por outro lado, um ponto positivo em relação aos resultados encontrados é que, caso a ΔE sofrida durante o AR não comprometa seu potencial como MP, a concentração de agentes antioxidantes poderia ser bastante reduzida e, talvez, até descartada, uma vez que essas maçãs MP não apresentaram mais escurecimento e alteração de luminosidade e tonalidade da polpa perceptíveis após o processamento mínimo.

Figura 52. Variação da cor na polpa nas maçãs que permaneceram 100 dias em AR ($0,5 \pm 0,2$ °C e UR de $85 \pm 5\%$) e em seguida foram minimamente processadas, das

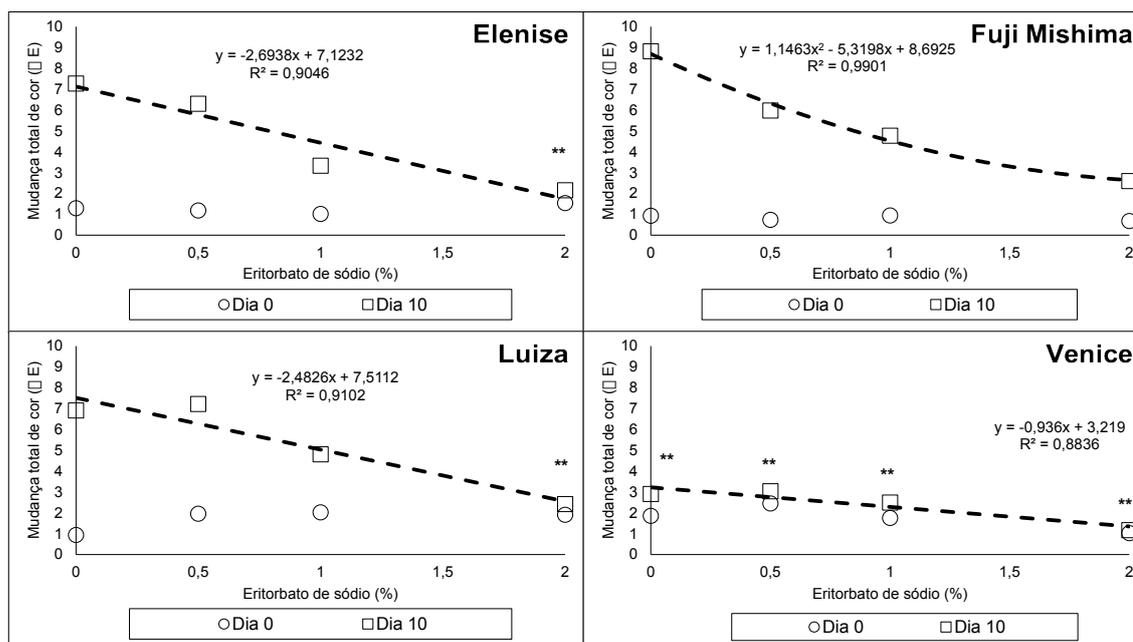
cultivares Venice (A) e Elenise (B), em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$), após. Safra 2019/2020.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

No dia 10 de armazenamento em BOD, as maçãs de todas as cultivares também apresentaram menor ΔE à medida que se elevaram as concentrações de ES (Figura 53). Após este período de 10 dias em BOD, as maçãs ‘Fuji Mishima’ apresentaram ΔE , independentemente da concentração de ES. Maçãs ‘Elenise’ e ‘Luiza’ não apresentaram ΔE com a concentração de 2% de ES. Por outro lado, maçãs ‘Venice’ não apresentaram ΔE independentemente da concentração ou aplicação de ES. Desta maneira, entre as cultivares, as maçãs ‘Venice’ foram as que apresentaram menor ΔE , enquanto as maçãs ‘Luiza’ e ‘Fuji Mishima’ foram as que apresentaram maior ΔE .

Figura 53. Mudança total de cor na polpa de quatro cultivares de maçãs que permaneceram 100 dias em AR ($0,5\pm 0,2$ °C e UR de $85\pm 5\%$) e em seguida foram minimamente processadas, em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2019/2020.



** não significativo

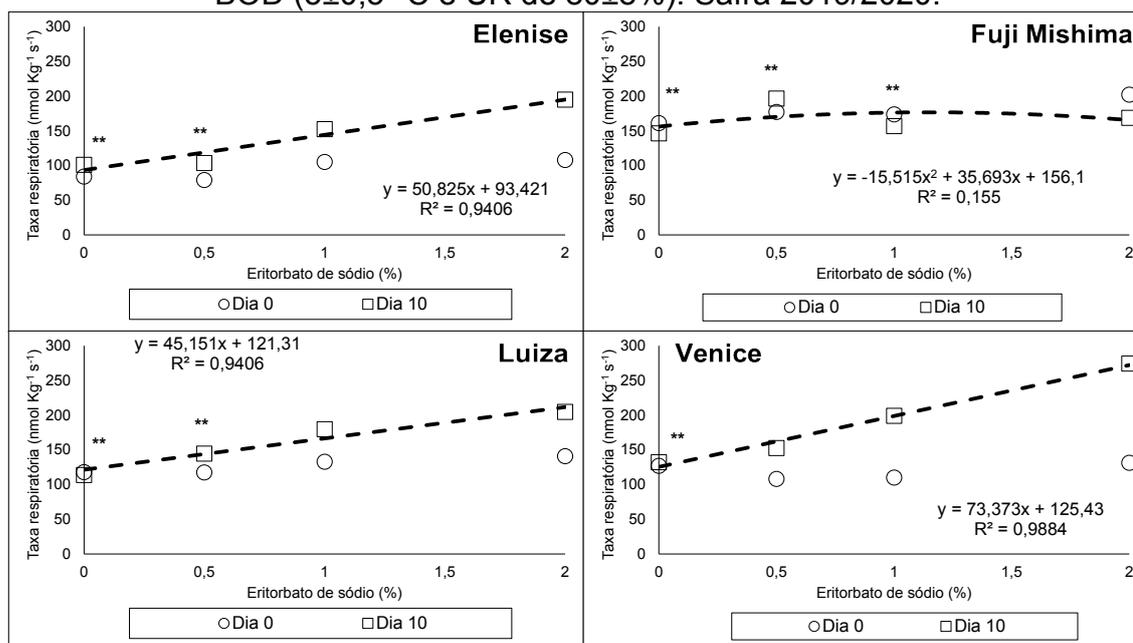
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

A taxa respiratória das maçãs MP apresentou interação entre os três fatores considerados. O aumento da concentração de ES aumentou a taxa respiratória das maçãs MP de todas as cultivares apenas no dia 10 de armazenamento em BOD (Figura 54). Maçãs da cultivar Venice tratadas com qualquer concentração de ES apresentaram aumento da taxa respiratória após 10 dias de armazenamento. Maçãs 'Elenise' e 'Luiza' apresentaram aumento da taxa respiratória após 10 dias de armazenamento somente nas concentrações de 1 e 2 % de ES. Já maçãs 'Fuji Mishima' apresentaram redução da taxa respiratória após 10 dias de armazenamento em BOD na concentração de 2% de ES. Observa-se que no dia 0 de armazenamento, a respiração das maçãs 'Fuji Mishima' é bastante elevada, sendo a cultivar com maior taxa respiratória entre todas neste período. Já no dia 10 de armazenamento em BOD, as maçãs da cultivar Venice foram as que apresentaram maior taxa respiratória. Maçãs da cultivar Elenise foram as que apresentaram menor taxa respiratória em ambos os períodos de armazenamento.

Putnik et al. (2016) observaram que o escurecimento da polpa nas maçãs MP e a respiração estão positivamente correlacionados até um determinado nível. Após este nível, que não foi determinado pelos autores, o escurecimento da polpa e a respiração invertem a relação, quando o aumento da respiração impedirá o escurecimento. Observou-se uma relação semelhante neste estudo, onde a taxa respiratória em maçãs MP com menor escurecimento, ou seja, aquelas que

receberam concentrações maiores de ES, foi maior após os 10 dias de armazenamento, indicando que essa taxa respiratória elevada poderia estar contribuindo na prevenção do escurecimento.

Figura 54. Taxa respiratória de quatro cultivares de maçãs que permaneceram 100 dias em AR ($0,5\pm 0,2$ °C e UR de $85\pm 5\%$) e em seguida foram minimamente processadas, em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ($5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$). Safra 2019/2020.



** não significativo

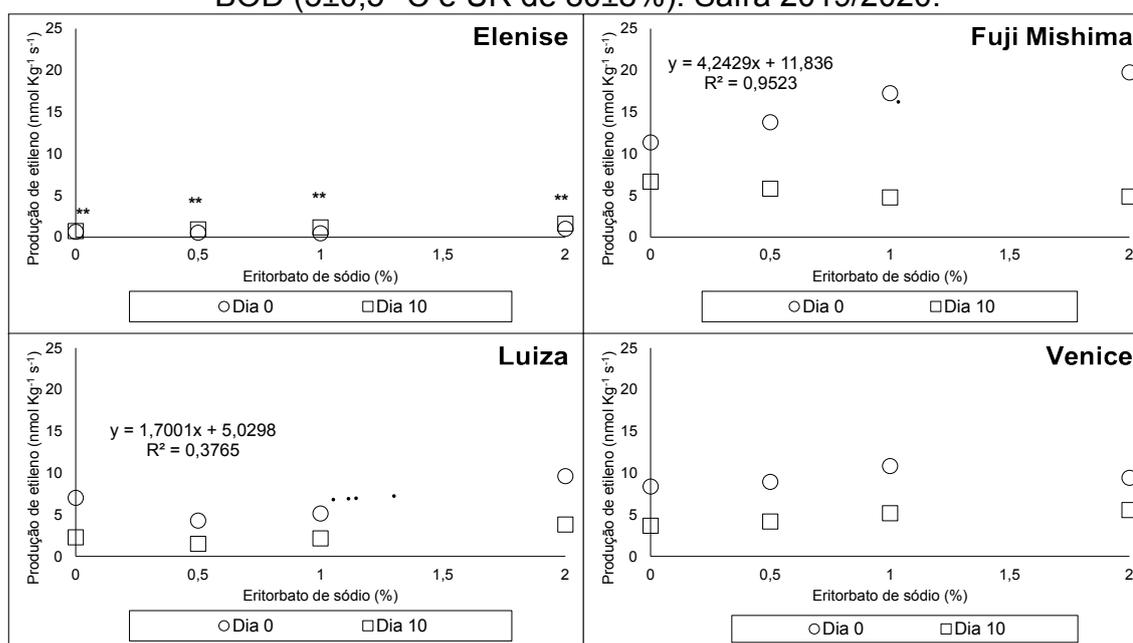
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Para produção de etileno, apenas as maçãs MP da cultivar Luiza seguiram a mesma tendência daquelas processadas depois de 5 dias em AR. Nas maçãs desta cultivar, após os 10 dias de armazenamento em BOD, a produção de etileno reduziu, independentemente da concentração de ES (Figura 55). E o aumento da concentração de ES aumentou a produção de etileno dessas maçãs MP no dia 0 de armazenamento em BOD, enquanto no dia 10 de armazenamento, a concentração de ES não apresentou significância. Além da cultivar Luiza, as maçãs das cultivares Fuji Mishima e Venice também apresentaram redução da produção de etileno após 10 dias de armazenamento em BOD, independentemente da concentração de ES. Nas maçãs 'Fuji Mishima', o aumento da concentração de ES aumentou a produção de etileno no dia 0 de armazenamento enquanto no dia 10 de armazenamento, a concentração de ES não afetou a produção de etileno. Já nas maçãs 'Venice' e 'Elenise' a concentração de ES não teve efeito sobre a produção de etileno em ambos os períodos de

armazenamento. Maçãs 'Elenise' foram, entre todas, as que apresentaram menor produção de etileno em ambos os períodos de armazenamento, sendo que, após os 10 dias de armazenamento em BOD, a produção de etileno dos frutos não se alterou em relação ao dia 0 de armazenamento independentemente da concentração de ES. Já as maçãs 'Fuji Mishima' foram as que apresentaram maior produção de etileno, em ambos os períodos de armazenamento.

Nas maçãs MP depois de 5 dias em AR das cvs. Fuji Mishima e Venice, a produção de etileno aumentou após 10 dias de armazenamento em BOD, enquanto no processamento dessas maçãs depois de 100 dias em AR, a produção de etileno reduziu após os 10 dias de armazenamento em BOD (Figura 55). Ainda assim, observa-se que o ES continuou atuando na síntese de etileno dessas maçãs MP, uma vez que o aumento da concentração desse antioxidante fez a produção de etileno aumentar durante o período de 0 dias (SMIRNOFF; WHEELER, 2000). Todavia, é possível que o estágio de amadurecimento mais avançado dos frutos, depois do AR por 100 dias, tenha reduzido a ação do ES como cofator da síntese de etileno nas maçãs MP após o armazenamento em BOD. Dessa maneira, a produção de etileno foi baixa após os 10 dias do processamento, independentemente da concentração de ES e da cultivar.

Figura 55. Produção de etileno de quatro cultivares de maçãs que permaneceram 100 dias em AR ($0,5 \pm 0,2$ °C e UR de $85 \pm 5\%$) e em seguida foram minimamente processadas, em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ($5 \pm 0,5$ °C e UR de $80 \pm 8\%$). Safra 2019/2020.



** não significativo

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Observando os resultados encontrados, pode-se indicar que as dosagens de ES devem ser utilizadas de acordo com a cultivar trabalhada. A cultivar Venice apresenta maçãs com potencial para processamento mínimo pois possui características, como elevado teor de AA e AAT e baixo conteúdo de substratos para o escurecimento enzimático da polpa. Além disso, a polpa das maçãs 'Venice' apresenta uma coloração natural que é pouco influenciada pelo processo enzimático que causa alterações visuais e prejuízos aos produtos MP. Desta maneira, é possível que concentrações mais baixas de ES (0,5% a 2%), ou até mesmo de outro agente conservante, sejam necessárias para prevenir o escurecimento enzimático dessas maçãs MP, armazenadas em refrigeração por períodos de 10 dias.

Maçãs 'Elenise' MP também apresentaram resultados importantes, como baixa taxa respiratória e de produção de etileno, o que pode estar diretamente relacionado a um metabolismo mais lento com menor deterioração. A cultivar Elenise também possui maçãs com elevados níveis de AA e AAT e baixo conteúdo fenólico, características que também podem estar associadas ao seu processo de escurecimento da polpa mais lento. Suas maçãs MP responderam muito bem ao ES, sendo que na concentração de 2%, as alterações visuais foram bem pequenas após 10 dias do processamento mínimo.

A cultivar Fuji Mishima possui como grande vantagem a possibilidade de ser utilizada no mercado de minimamente processados de maneira mais imediata, uma vez que já é uma cultivar consolidada no país, com extensivas áreas de plantio. As maçãs desta cultivar também apresentaram potencial ao mercado de MP, apresentando baixo escurecimento da polpa, evento relacionado principalmente a sua baixa composição fenólica. Para até 10 dias de armazenamento refrigerado, a dosagem de 2% de ES reduziu bastante o escurecimento da polpa das maçãs 'Fuji Mishima', no entanto, doses maiores podem mostrar efeitos melhores.

Já as maçãs da cultivar Luiza não são as mais indicadas para o processamento mínimo, pois apresentaram a maior produção de etileno, maior conteúdo de CFT e alta atividade da PPO e POD. Embora as maçãs 'Luiza' MP também apresentem uma boa resposta ao ES, para a conservação desses frutos por períodos em torno de 10 dias, concentrações superiores a 2% de ES seriam necessárias.

4.4 CONCLUSÕES

O ES previne o escurecimento da polpa das maçãs MP. Este antioxidante está associado à preservação dos teores de AA, AAT e CFT nas maçãs MP, o que confere a estas, melhor manutenção de qualidade com menor mudança de cor da polpa.

O ES atua na elevação da taxa respiratória, no aumento da produção de etileno e também exerce influência em outros atributos das maçãs MP, como perda de massa, textura da polpa, SS, AT e atividade das enzimas PPO, POD e SOD. Desta maneira, a dosagem de ES utilizada para conservação de maçãs MP depende da cultivar, uma vez que os atributos influenciados pelo ES estão associados às cultivares e relacionados à conservação dos frutos.

O ES em concentrações reduzidas (0,5%, 1% e 2%), minimiza a perda de massa, a perda de luminosidade, a alteração da tonalidade, o escurecimento e a mudança total de cor da polpa das maçãs MP após 10 dias armazenadas a temperatura de 5 °C e UR de 80%, depois de um período de armazenamento refrigerado de 5 ou 100 dias em temperatura de 0,5 °C e UR de 85%.

A dose de 2% de ES pode ser recomendada em maçãs MP das cultivares 'Elenise', 'Venice' e 'Fuji Mishima' para um armazenamento em temperatura de 5 °C e UR de 80% por até 10 dias. Maçãs 'Venice' MP depois de 100 dias em AR podem necessitar de uma dose de ES menor que 2% para um armazenamento em temperatura de 5 °C e UR de 80% por até 10 dias.

O ES altera atributos físico-químicos das maçãs MP, como textura da polpa, SS e AT, dependendo da cultivar e do tempo que os frutos ficam em AR antes do processamento mínimo.

Maçãs MP depois de 100 dias em AR e tratadas com ES possuem o mesmo potencial de maçãs MP depois de 5 dias em AR. As maçãs têm aumento nos teores de SS, redução da AT e mudança total de cor pouco significativa depois dos 100 dias em AR. Todavia, essas maçãs MP mantêm o padrão de qualidade visual e físico-químico de maçãs MP depois de 5 dias em AR.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mercado de maçãs minimamente processadas no Brasil se apresenta como um nicho com grandes oportunidades, pois, atualmente, ainda não há nenhuma grande empresa do setor de alimentos atuando nele. Alguns pequenos produtores rurais, de forma isolada, e normalmente dispendo de poucas informações, vêm desenvolvendo e abastecendo as cadeias de varejo. Devido à demanda crescente, aumenta a perspectiva para a expansão de produtos minimamente processados. Além disso, o processamento destes frutos nas regiões produtoras poderia contribuir para a diversificação das indústrias regionais, para reduzir as perdas pós-colheita, melhorar o manejo dos resíduos e facilitar o transporte. Ainda, o processamento mínimo da maçã representa uma forma de aproveitar excedentes de produção, agregar valor ao produto, expandir a diversificação de cultivares e propiciar a conveniência durante o consumo.

Estudos demonstram que os consumidores preferem maçãs MP preparadas a partir de cultivares mais novas e mais saborosas, em detrimento daquelas feitas com materiais mais antigos. As cultivares nacionais, Elenise e Venice apresentam potencial para utilização no mercado de minimamente processados de maçã. Estas cultivares apresentam maçãs com menores e mais lentas variações de cor na polpa. As maçãs 'Venice' possuem uma cor da polpa que, embora seja naturalmente mais "amarelada", possuem a vantagem de necessitar de uma menor concentração de agente conservante para não sofrer alterações. As maçãs 'Elenise' apresentam uma cor da polpa mais clara e com lento escurecimento, sendo que responde muito bem à agentes conservantes para manter a qualidade por períodos mais longos de armazenamentos. Já a cultivar Fuji Mishima possui frutos com baixo escurecimento da polpa e, como grande vantagem, maçãs 'Fuji' dispõem da possibilidade de serem utilizadas no mercado de minimamente processados de maneira mais imediata, uma vez que já é uma cultivar consolidada no país, com extensivas áreas de plantio.

As maçãs 'Elenise' e 'Venice', apresentam os maiores níveis ácido ascórbico nos frutos e elevados níveis de antioxidantes, o que pode ser importante tanto na preservação das características organolépticas dos produtos MP, quanto no potencial nutricional, uma vez que níveis mais elevados de ácido ascórbico e antioxidantes representam benefícios à saúde humana. Estas cultivares possuem bom equilíbrio nos teores de SS e AT, sendo adequados para o processamento mínimo. Todavia,

mesmo com a refrigeração das maçãs MP a 5 °C, o emprego de agentes conservantes é necessário para manter a qualidade dos frutos MP por períodos mais longos. Além dos níveis mais elevados de AA e AAT nas maçãs 'Elenise' e 'Venice', as taxas respiratórias, de produção de etileno, as atividades da PPO, da POD e os teores de CFT mais reduzidos foram os atributos mais associados ao menor escurecimento da polpa destas maçãs. De maneira geral, os teores de CFT foram maiores em maçãs que escureceram mais, bem como foram reduzindo ao longo do tempo, na medida em que a polpa das maçãs foram escurecendo. Certamente a composição fenólica das maçãs estudadas apresentam maiores quantidades de compostos fenólicos que atuam como substratos das enzimas PPO e POD do que compostos fenólicos que podem atuar como antioxidantes, ajudando a controlar o escurecimento da polpa dos frutos. Ademais, estudos futuros que avaliem o perfil destes fenóis em cada cultivar estudada podem contribuir para elucidar alguns resultados obtidos no presente trabalho, levando a um melhor entendimento do processo de escurecimento destas cultivares.

Como verificado com o ES, as maçãs com o escurecimento enzimático menor podem requerer uma redução considerável de agentes conservantes. Para a indústria de maçãs minimamente processadas e também de processamentos de sucos integrais e fermentados, isso pode ser muito interessante, pois cada vez mais cresce a preocupação com os aditivos utilizados na indústria de alimentos. Aliado a isso, o estudo de outros agentes conservantes também pode ser uma indicação de estudos futuros. Atualmente há uma busca e descoberta de novos aditivos alimentares com propriedades anti-escurecimento, incluindo alguns provenientes de fontes naturais, considerados mais saudáveis para a alimentação.

Embora tenha se utilizado o desinfetante hipoclorito de sódio (200 ppm) durante o preparo das amostras, não foram avaliadas questões de segurança alimentar, incluindo análises de contaminação microbiológicas. Sabe-se que os alimentos minimamente processados constituem um ótimo meio de crescimento para os microrganismos devido as lesões nos tecidos, o alto teor de umidade e por serem muito manipulados. Outros estudos que utilizaram o mesmo desinfetante e realizaram o mesmo procedimento de processamento, não verificaram alteração microbiológica significativa. Contudo, é necessário verificar possíveis crescimentos microbiológicos nas maçãs MP, principalmente em relação ao tempo de armazenamento. Períodos de até 10 dias parecem não apresentar problemas dessa ordem, porém, para períodos

mais prolongados de armazenamentos, é necessária uma avaliação biológica mais ampla. Não existe uma legislação que estabeleça padrões microbiológicos sanitários para alimentos minimamente processados no Brasil. Porém, além da segurança alimentar, frutos MP sem a presença de microrganismos garantem também menor deterioração e maior qualidade dos alimentos.

Também foi possível verificar que as maçãs processadas depois de 100 dias de AR mantiveram um padrão de qualidade, principalmente relacionado a alterações de cor da polpa. Este resultado é muito importante do ponto de vista prático. Atualmente, um dos grandes gargalos na cadeia produtiva da maçã é a mão de obra, principalmente na colheita dos frutos. Devido à baixa diversidade de cultivares e as extensas áreas de cultivo da macieira, a colheita dos frutos é concentrada em curtos períodos. Além disso, um grande volume de maçãs é levado à *packing houses*, cujas estruturas se limitam a classificar os frutos para o armazenamento mais rápido possível, garantindo assim a melhor manutenção da qualidade das maçãs durante o ano. Desta maneira, seria difícil construir e manter uma grande estrutura para processamento de maçãs logo após a colheita dos frutos. Outro ponto importante é a vida de prateleira destas maçãs MP. Não se observa um período muito longo de armazenamento dos frutos MP (superior a 15 dias). Assim, o processamento mínimo de maçãs, em quantidades suficientes para atender ao mercado ao longo do ano, de forma escalonada e mantendo a qualidade do produto são considerações importantes.

Embora a qualidade, principalmente visual, tenha sido mantida nas maçãs MP depois do AR de 100 dias, é possível verificar pequenas modificações nos teores de SS e AT. Além disso, também se notou alterações destes atributos em maçãs tratadas com ES, dependendo da cultivar e da concentração. Desta maneira, é muito importante que trabalhos futuros também envolvam análises sensoriais, a fim de verificar se essas alterações são perceptíveis pelo consumidor.

REFERÊNCIAS

- ABBOTT, J.A., SAFTNER, R.A., KENNETH, G.C., VINYARD, B.T., JANICK, J. Consumer evaluation and quality measurement of fresh-cut slices of 'Fuji', 'Golden Delicious', 'GoldRush', and 'Granny Smith' apples. *Postharvest Biol. Technol.*, v. 33, p. 127–140, 2004.
- AGUAYO, E., REQUEJO-JACKMAN, C., STANLEY, R., WOOLF, A. Effects of calcium ascorbate treatments and storage atmosphere on antioxidant activity and quality of fresh-cut apple slices. *Postharvest Biology and Technology*. v. 57, n. 1, p. 52-60, 2010.
- AHVENAINEN, R. New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetable. *Trends in Food Science & Technology*, v.7, p.179-187, jun. 1996.
- ALONSO-SALCES, R.M.; BARRANCO, A.; ABAD, B.; BERRUETA, L.A.; GALLO, B. VICENTE, F. Polyphenolic profiles of Basque cider apple cultivars and their technological properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 52, p. 2938-2952, 2004.
- ALZAMORA, S. M. ; TAPIA, M. S.; WELTI CHANES, J. New strategies for minimally processed foods. the role of multitarget preservation. *Food Science and Technology International*. Aspen Publishers v.4, n. 5. ed. p: 353-361. 1998.
- AMIOT, M. J., TACCHINI, M., AUBERT, S., NICOLAS, J. Phenolic compounds and browning susceptibility of various apple cultivars at maturity. *J. Food Sci.* v. 57, p. 958–962, 1992.
- BEAUDRY, R. M. Response of horticultural commodities to low oxygen: limits to the expanded use of MAP. *Hort-Technology*, v. 10, p. 491–500, 2000.
- BEAULIEU, M.; D'APRANO, G.; LACROIX, M. Effect of dose rate of gamma irradiation on biochemical quality and browning of mushrooms *Agaricus bisporus*. *Radiation Physics and Chemistry*, v. 63, n. 3-6, p. 311-315, 2002.
- BENSID, A.; ABED, N.E.; HOUICHER, A.; REGENSTEIN, J.M.; OZOGUL, F. Antioxidant and antimicrobial preservatives: Properties, mechanism of action and applications in food – a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. P 1-17, 2020.
- BENSID, A.; ABED, N.E.; HOUICHER, A.; REGENSTEIN, J.M.; ÖZOGUL, F: Antioxidant and antimicrobial preservatives: Properties, mechanism of action and applications in food – a review, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, p. 1-17, 2020.
- BERTRAND, C.; RAPOSO, M. F.D.J.; MORAIS, R.M.S.C.D.; & MORAIS, A.M.M.B.D. Effects of different edible coatings on polyphenol oxidase activity and colour of fresh-cut apple during cold storage. *International Journal of Postharvest Technology and Innovation*, v.5, n.2, p.91-104, 2015.
- BONETI, J. I. S.; PEREIRA, A. J.; DENARDI, F.; NUNES, E. C.; BRIGHENTI, E.; KATSURAYAMA, Y. Kinkas: nova cultivar de macieira resistente a sarna e a mancha da gala. *Jornal da Fruta*, Lages, SC, v. 17, n. 217, p. 2-2, 2009.

BOYER, J.; LIU, R. H. Apple phytochemicals and their health benefits. *Nutrition journal*, Springer, v. 3, n. 1, p. 1–15, 2004.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa). Portaria nº 1.004 de 11 dez. 1998. Dispõe sobre o Regulamento técnico de Atribuição de Função de Aditivos, Aditivos e seus Limites Máximos de uso para a Categoria 8 - Carne e Produtos Cárneos. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*. Brasília, DF, 22 mar. 1999.

BUTA J.G., MOLINE H.E., SPAULDING D.W., WANG C.Y. Extending storage life of fresh-cut apples using natural products and their derivatives. *J. Agric. Food Chem.* v. 47, n. 1, 1, 1999.

CANTILLANO, R.F.F.; RIBEIRO, J.A.; SEIFERT, M. Efeito de Antioxidantes na Qualidade Pós-colheita de Maçãs “Royal Gala” Minimamente Processadas. *Pelotas: Embrapa Clima Temperado*, p.29, 2017.

CAROCHO M., MORALES P., FERREIRA I.C.F.R. Antioxidants: Reviewing the chemistry, food applications, legislation and role as preservatives. *Trends Food Sci. Technol.* v. 71, n.107, 2018.

CARRASCO-SANDOVAL, J., ARANDA-BUSTOS, M., HENRIQUEZ-AEDO, K., LOPEZ-RUBIO, A. FABRA, M.J. Bioaccessibility of diferente types of phenolic compounds co-encapsulated in alginate/chitosancoated zein nanoparticles. *LWT-Food Science and Technology*, v. 149, n. 112024, 2021.

CARVALHO, A. V.; LIMA, L. C. O. Qualidade de kiwis minimamente processados e submetidos a tratamento com ácido ascórbico, ácido cítrico e cloreto de cálcio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 37, n. 5, p. 679-685, 2002.

CARVALHO, J.R. F; SILVA, K.M.; SIMÕES, D.R.S.; WOSIACKI, G.; NOGUEIRA, A. Elaboração de fermentado frisante de maçã com características semelhantes à sidra francesa. *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, v. 28, n. 1, p. 97-144, 2010.

CASTREJON, A. D. R.; EICHHOLZ, I.; ROHN, S.; KROH, L. W. HUYSKENS-KEIL, S. Phenolic profile and antioxidant activity of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) during fruit maturation and ripening. *Food Chemistry*, Washington, v. 109, p. 564–572, 2008.

CEYMANN, M., ARRIGONI, E., SCHÄRER, H., BOZZI NISING, A., HURRELL, R. F. Identification of apples rich in health-promoting flavan- 3-ols and phenolic acids by measuring the polyphenol profile. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 26, p. 128–135, 2012.

CHINNICI, F.; BENDINI, A.; GAIANI, A.; RIPONI, C. Radical scavenging activities of peels and pulps from cv. Golden Delicious apples as related to their phenolic composition. *J. Agric. Food Chem.* v. 52, p. 4684–4689, 2004.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio. 2. ed. atual. eampl. v. 1, 783 p.UFLA, Lavras. 2005.

CHUMYAM, A., FAIYUE, B., SAENGNIL, K. Reduction of enzymatic browning of freshcut guava fruit by exogenous hydrogen peroxide-activated peroxiredoxin/thioredoxin system. *Sci. Hortic.* v. 255, p. 260–268, 2019.

CIRKOVIC, T.D.V; STANIC-VUCINIC, D.J. The Role of Dietary Phenolic Compounds in Protein Digestion and Processing Technologies to Improve Their Antinutritive Properties. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* v. 17, p. 82–103, 2018.

CLARK, A. C., VESTNER, J., BARRIL, C., MAURY, C., PRENZLER, P. D., SCOLLARY, G. R. The Influence of Stereochemistry of Antioxidants and Flavanols on Oxidation Processes in a Model Wine System: Ascorbic Acid, Erythorbic Acid, (+)-Catechin and (–)-Epicatechin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* v. 58, n. 2, p. 1004-1011, 2009.

COCCI, E; ROCCULI, P; ROMANI, S; ROSA, M.D. Changes in nutritional properties of minimally processed apples during storage. *Postharvest Biology and Technology,* v.39, p. 265-271, 2006.

CORTELLINO, G., GOBBI, S., BIANCHI, G., RIZZOLO, A. Modified atmosphere packaging for shelf life extension of fresh-cut apples. *Trends in Food Science & Technology* v. 46, n.2, Part B, p. 320-330, 2015.

COSETENG, M.; LEE, C. Changes in apple polyphenoloxidase and polyphenol concentrations in relation to degree of browning. *Journal of Food Science, Wiley Online Library,* v. 52, p. 985–989, 1987.

CRUZ, M. R.; CAMARGO, M. E.; BRAZ, P. H. C.; FREY, E. H.; FREY, M. V. Estratégias para inovação na cadeia produtiva da maçã brasileira. *Revista Raunp,* v.8, n.1, p. 64-73, 2015.

DE MARTIN, M.S.; BETINELLI, K.S.; ARGENTA, L.C.; STEFFENS, C.A.; AMARANTE, C.V.T.; KVITSCHAL, M.V. Storage potential of ‘SCS426 Venice’ apples under different storage technologies. *Revista Brasileira de Fruticultura,* v. 40, n. 2, p. 1-10, 2018.

DENARDI, F.; CAMILO, A.P. Daiane: Nova cultivar de macieira para colheita em março. *Revista Agropecuária Catarinense, Florianópolis,* v.11, n.3, p.6-8, 1998.

DENARDI, F.; CAMILO, A.P.; KVITSCHAL, M.V. SCS417 Monalisa: cultivar de macieira com boa adaptação climática no Sul do Brasil e resistência múltipla a doenças e pragas. *Revista Agropecuária Catarinense, Florianópolis,* v.26, n.1, p.56-62, 2013.

DENARDI, F.; KVITSCHAL, M. V.; HAWERROTH, M. C.; ARGENTA, L. C. SCS427 Elenise: late-ripening apple variety of good storability and resistance to Glomerella Leaf Spot. *Agropecuária Catarinense, Florianópolis,* v.33, n.2, p.32-36, 2020.

DENARDI, F.; KVITSCHAL, M.V.; HAWERROTH, M.C. A brief history of the forty-five years of the Epagri apple breeding program in Brazil. *Crop Breeding and Applied Biotechnology.* v.19, n.3, p.347-355, 2019.

DENARDI, F.; KVITSCHAL, M.V.; HAWERROTH, M.C. SCS425 Luiza: Novo cultivar de macieira com sabor de polpa de alto padrão. *Florianópolis, Epagri,* 2015b, 6p.

DENARDI, F.; KVITSCHAL, M.V.; HAWERROTH, M.C. SCS426 Venice: Novo cultivar de macieira com médio requerimento de frio hiberna. *Florianópolis, Epagri,* 2015c, 6p.

DENARDI, F.; KVITSCHAL, M.V.; HAWERROTH, M.C. SCS427 Elenise: Novo cultivar de macieira de maturação tardia. *Florianópolis, Epagri,* 2015a, 6p.

DEUTCH, C.E. Browning in apples: Exploring the biochemical basis of an easily-observable phenotype. *Biochem. Mol. Biol. Ed.* v.46, p. 76–82, 2018.

DEVIC, E.; GUYOT, S.; DAUDIN, J.-D.; BONAZZI, C. Kinetics of Polyphenol Losses During Soaking and Drying of Cider Apples. *Food Bioprocess Technol.* v. 3, p. 867–877, 2010.

DROGOUDI, P. D., MICHALIDIS Z., & PANTELIDIS G. Peel and flesh antioxidant content and harvest quality characteristics of seven apple cultivars. *Scientia Horticulturae*, v. 115. n. 2, p.149-153, 2008.

DUANGMAL, K.; WORAPOTPISUT, C.; ROMPOSA, N.; KATEMAKE, P. Uneven enzymatic browning on fresh-cut apple and its measurement. *Acta Hortic.* n.1179, p. 69-76, 2017.

ects of CaCl₂ dips and heat treatments on firmness and metabolic activity. *Postharvest Biol. Technol.* v. 17, p. 201–213, 1999.

EFSA. Scientific Opinion on the re-evaluation of erythorbic acid (E 315) and sodium erythorbate (E 316) as food additives. *EFSA Journal.* v. 14, n. 4360, 2016.

ENDO, E.; SOARES, N. de F. S.; SANTOS, D. A. A. dos.; BORGES, S. V.; FONTES., E. A. F.; GONÇALVES, M. P. J. C. Alterações físicas e físico-químicas de batatas (*Solanum tuberosum* L.) minimamente processadas intercaladas com diferentes filmes ativos. *Alimentos e Nutrição. Araraquara.* v. 17, n. 3. p: 239-249, 2006.

ERCOLI, L., BARIZÃO, E.O.; BOEING, J.S.; KVITSCHAL, M.V.; VISENTAINER, J.V.; ALMEIDA, V. C. Evaluation of chemical characteristics and correlation analysis with pulp browning of advanced selections of apples grown in Brazil. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 39, n. 1, 2017.

ERTEKIN FILIZ, B.; SEYDIM, A. C. Kinetic changes of antioxidant parameters, ascorbic acid loss, and hydroxymethyl furfural formation during apple chips production. *Journal of Food Biochemistry*, p.e12676, 2018.

ESCALONA, V., LUCHSINGER, L. Una Revisión sobre frutas y hortalizas mínimamente procesadas en fresco. *Aconex*, v. 99, p. 23–28, 2008.

ESPLEY, R.V., LEIF, D., PLUNKETT, B. et al. Red to brown: an elevated anthocyanic response in apple drives ethylene to advance maturity and fruit flesh browning. *Frontiers in Plant Science*, v.10, n.1248, 2019.

FAGUNDES, C.; CARCIOFI, B. A. M.; MONTEIRO, A. R. Estimate of respiration rate and physicochemical changes of fresh-cut apples stored under different temperatures. *Food Science and Technology, SciELO Brasil*, v. 33, n. 1, p. 60–67, 2013.

FAGUNDES, C.; CARCIOFI, B. A. M.; MONTEIRO, A. R. Estimate of respiration rate and physicochemical changes of fresh-cut apples stored under different temperatures. *Food Science and Technology, SciELO Brasil*, v. 33, n. 1, p. 60–67, 2013.

FAN, X. Chemical inhibition of polyphenol oxidase and cut surface browning of fresh-cut apples. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition.* v. 13, p.1-15, 2022.

FANG, T.; ZHEN, Q.; LIAO, L.; OWITI, A.; ZHAO, L.; KORBAN, S. S.; HAN, Y. Variation of ascorbic acid concentration in fruits of cultivated and wild apples. *Food Chemistry*, v.225, p. 132–137, 2017.

FANG, T.; CHEN, J.; LIN, Q.; ZHONG, Y.; DUAN, Y. BI, J. Phenolic profiling reveals the metabolite basis of flesh colour and fresh-cut browning in apple fruit. *International Journal of Food Science and Technology*. v. 57, p. 2257–2266, 2022.

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations Statical Databases. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>>. Acesso em: 25 mai. 2022.

FERNÁNDEZ-TRUJILLO, J.P.; NOCK, J.F.; KUPFERMAN, E.M.; BROWN, S.K.; WATKINS, C.B. Peroxidase activity and superficial acauld development in apple fruit. *Journal of agricultural and food chemistry*, v. 51, n. 24, p. 7182-7186, 2003.

FERREIRA, D. F. Sisvar – programa estatístico. Versão 5.6 (Build 86). Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2010.

FIGUEIREDO B.C., TRAD I.J., MARIUTTI L.R.B. AND BRAGAGNOLO N.. Effect of annatto powder and sodium erythorbate on lipid oxidation in pork loin during frozen storage. *Food Res. Int.* v. 65. n. 137, 2014.

FINGER, F. L; VIEIRA G. Controle da perda pós-colheita de água em produtos minimamente processados. Viçosa: UFV. 29p. 1997.

FINNEGAN, E., MAHAJAN, P. V., O'CONNELL, M., FRANCIS, G. A., O'BEIRNE, D. Modelling respiration in fresh-cut pineapple and prediction of gas permeability needs for optimal modified atmosphere packaging. *Postharvest Biology and Technology*, v. 79, p. 47–53, 2013.

FONSECA, S.C.; OLIVEIRA, F.A.R.; BRECHT, J.K. Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. *Journal of Food Engineering*, v.52, p. 99-119, 2002.

FURLAN, C.R.C.; DANTAS, A.C.M.; DERNARDI, F.; BECKER, W.F.; MONTOVANI, A.D.E.L.A.R. Resistência genética dos acessos do banco de germoplasma de macieira da EPAGRI à mancha foliar de glomerella (*Colletotrichum gloeosporioides*). *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 32, n. 2, p. 507-514, 2010.

GANG C.C., LI J.L., CHEN Y.Z., WANG Y.J., LI H., PAN B., ODEH I. Synergistic effect of chemical treatments on storage quality and chilling injury of honey peaches. *J. Food Process. Preserv.* v. 39, n. 6, 1108, 2015.

GIANNOPOLITIS, C.N., RIES, S.K.; Superóxido dismutases. I. occurrence in higher plants. *Plant Phys.*, v. 59, p. 309-314, 1977.

GÓMEZ-JUARISTI, M., SARRIA, B., GOYA, L., BRAVO-CLEMENTE, L., MATEOS, R. Experimental confounding factors affecting stability, transport and metabolism of flavanols and hydroxycinnamic acids in Caco-2 cells. *Food Research International*, v. 129, n. 108797, 2020.

GONÇALVES, M.W.; ARGENTA, L.C.; DE MARTIN, M.S. Maturity and quality of apple fruit during the harvest period at apple industry. *Revista Brasileira de Fruticultura*. v. 39, n. 5, 2017.

GONG, Y., TOIVONEN, P.M.A., LAU, O.L., WIERSMA, P.A. Antioxidant system level in “Braeburn” apple is related to its browning disorder. *Bot. Bull. Acad. Sin.* V. 42, p. 259–264, 2001.

GOUPY, P.; AMIOT, M. J.; RICHARD-FORGET, F.; DUPRAT, F., AUBERT, S.; NICOLAS, J. Enzymatic browning of model solutions and apple phenolic extracts by apple polyphenoloxidase. *Journal of Food Science*, v.60, n.3, p.497-501, 1995.

GRANT-PREECE, P., FANG, H., SCHMIDTKE, L. M., CLARK, A. C. Sensorially important aldehyde production from amino acids in model wine systems: Impact of ascorbic acid, erythorbic acid, glutathione and sulphur dioxide. *Food Chemistry* v. 141, n.1, p. 304-312, 2013.

GROSS K.C., WANG C.Y., SALTVEIT M.E. The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks. *Agriculture handbook 66*. Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture, 2016.

HAGEN, S.F.; BERGE, G.I.A.; BENGTSSON, G.B.; BILGER, W.; BERGE, A.; HAFFNER, K.; SOLHAUG, K.A. Phenolic contents and other health and sensory related properties of apple fruit (*Malus domestica* Borkh., cv. Aroma): Effect of postharvest UV-B irradiation. *Postharvest Biol. Technol.* v. 45, p. 1–10, 2007.

HAMDAN, N.; LEE, C.H.; WONG, S.L.; FAUZI, C.E.N.C.A.; ZAMRI, N.M.A.; LEE, T.H. Prevention of Enzymatic Browning by Natural Extracts and Genome-Editing: A Review on Recent Progress. *Molecules*, v. 27, n. 1101, p. 1-37, 2022.

HAMMERSCHMIDT, R.; NUCKLES, E. M.; KUĆ, J. Association of enhanced peroxidase activity with induced systemic resistance of cucumber to *Colletotrichum lagenarium*. *Physiological Plant Pathology*, v. 20, n. 1, p. 73-82, 1982.

KAR, M.; MISHRA, D. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. *Plant physiology*, Oxford, v. 57, n. 2, p. 315-319, 1976.

HARICH, M.; MAHERANI, B.; SALMIERI, E.; LACROIX, M. Antibacterial activity of cranberry juice concentrate on freshness and sensory quality of ready to eat (RTE) foods. *Food Control*, v 75, p 134e144, 2017.

HARKER, F.R.; GUNSON, F.A.; JAEGER, S.R. The case of fruit quality: an interpretative review of consumer attitudes and preferences for apples. *Postharvest Biology and Technology*, v.28, n.3, p.333-347, 2003.

HAUAGGE, R.; BRUCKNER, C. H. Macieira. In: BRUCKNER, C. H. *Melhoramento de fruteiras de clima temperado*. Vicosia: Ed. UFV, 2002. cap. 2, p.28-88.

HIRAGA, S.; SASAKI, K.; HIROYUKI, I.; OHASHI, Y.; MATSUI, H. A large family of class III plant peroxidase. *Plant Cell Physiology*, v. 42, p. 462-468, 2001.

HOLDERBAUM, D. F.; KON, T.; KUDO, T.; GUERRA, M. P. Enzymatic Browning, Polyphenol Oxidase Activity, and Polyphenols in Four Apple Cultivars: Dynamics during Fruit Development. *Hortscience* v. 45, n. 8. p. 1150–1154, 2010.

HUNTERLAB. Applications note: CIE L* a* b* color scale. Virginia, 1996. v. 8, n. 7.

INANLI, A. G., E. T. A. T€UMERKAN, N. EL ABED, J. M. REGENSTEIN, AND F. OZOGUL. The impact of chitosan on seafood quality and human health: A review. *Trends in Food Science & Technology*. v. 97, p. 404–16, 2020.

IQBAL, T; RODRIGUES, F.A.S; MAHAJAN P. V; KERRY J.P. Mathematical modeling of the influence of temperature and gas composition on the respiration rate of shredded carrots. *Journal of Food Engineering* v. 91, p. 325–332, 2009.

JACOMINO A.P. ARRUDA M.C, MOREIRA R.C, KLUGER R.A. Processamento mínimo de frutas no Brasil. *Horticultura Brasileira*. v.22, p. 79-86, 2004.

JAKOBEK, L. et al. Polyphenolic characterisation of old local apple varieties from Southeastern European region. *Journal of Food Composition and Analysis*, Amsterdam, v.31, n.2, p.199-211, 2013.

JANG, J.H.; MOON, K.D. Inhibition of polyphenol oxidase and peroxidase activities on fresh-cut apple by simultaneous treatment of ultrasound and ascorbic acid. *Food Chemistry*, Washington, v. 124, p. 444 – 449, 2011.

JEONG, H. L., JIN W.J., KWANG D.M., KEE J.P., 2008, Effects of anti-browning agents on polyphenoloxidase activity and total phenolics as related to browning of fresh-cut 'Fuji' apple, *ASEAN Food J.* v.15, p. 79-87, 2008.

JIANG, Y.; DUAN, X.; QU, H.; ZHENG, S. Browning: Enzymatic Browning. *Encyclopedia of Food and Health*, p. 508-514, 2016.

JOHNSTON, J. W.; HEWETT, E. W.; HERTOOG, M. L.; HARKER, F. R. Temperature induces differential softening responses in apple cultivars. *Postharvest Biology and Technology*, Elsevier, v. 23, n. 3, p. 185–196, 2001.

KADER, A. A. Future of modified atmosphere research. *Acta Horticulturae*, n.857, p.213–217, 2010.

KADER, A. A., SALTVEIT, M. E. Respiration and gas exchange. *Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables*, v. 2, p. 7–29, 2003.

KALT, W., FORNEY, C.F., MARTIN, A., PRIOR, R.L. Antioxidant capacity, Vitamin C, phenolics, and anthocyanins after fresh storage of small fruits. *J. Agric. Food Chem.* v. 47, p. 4638–4644, 1999.

KIM, A. N., KIM, H. J., KERR, W. L., CHOI, S. G. The effect of grinding at various vacuum levels on the color, phenolics, and antioxidant properties of apple. *Food chemistry*, v. 216, p. 234-242, 2017.

KOHATSU, D.S., EVANGELISTA, R.M., SEABRA, J.R, S. Jr. S., VIEITES, R.L., GOYO, R. Características físicas, físico-químicas, químicas e sensoriais de cenoura minimamente processada. *Cultivando o Saber*, v.2, n.4, 2009.

KOŁODZIEJCZYK, K., MILALA, J., S OJKA, M., KOSMALA, M., MARKOWSKI, J. Polyphenol oxidase in selected apple cultivars. *J. Fruit Oram. Plant Res.* v. 18, p. 51–61, 2010.

KSCHONSEK, J., WOLFRAM, T., STÖCKL, A., BÖHM, V. Polyphenolic compounds analysis of old and new apple cultivars and contribution of polyphenolic profile to the in vitro antioxidant capacity. *Antioxidants*, v.7, n. 20, 2018.

KUMAR, P.; SETHI, S.; SHARMA, R.; SINGH, S.; VARGHESE, E. Improving the shelf life of fresh-cut 'royal delicious' apple with edible coatings and anti-browning agents. *Journal of food science and technology*, Springer, v. 55, n. 9, p. 3767–3778, 2018b.

KUMAR, P.; SETHI, S.; SHARMA, R.R.; SINGH, S.; SABA, S.; SHARMA, V.K.; VERMA, M.K.; SHARMA, S.K. Nutritional characterization of apple as a function of genotype. *Journal of Food Science and Technology*. v. 55, p. 2729–2738, 2018a.

KUMAR, S.; MISHRA, B.; SAXENA, S.; BANDYOPADHYAY, N.; MORE, V.; WADHAWAN, S.; HAJARE, S.; GAUTAM, S.; SHARMA, A. Inhibition of pericarp browning and shelf life extension of litchi by combination dip treatment and radiation processing. *Food Chemistry*, 131, 1223–1232, 2012.

KVITSCHAL, M.V.; DENARDI, F. Necessidade de diversificação de cultivares de macieira no Brasil. *Revista Agropecuária Catarinense*, Florianópolis, v.25, n.2, p.78-84, 2010.

LAURENS, F. Review of the current apple breeding programmes in the world: Objectives for scion cultivar improvement. In: Tobutt, K.R. and F.H. Alston (eds.). *Proc. Eucarpia Symp. Fruit Breed. Genet. Acta Horticulturae*. v. 484, p.163–170, 1999.

LE BOURVELLEC, C.; LE QUÉRÉ, J.M.; SANONER, P.; DRILLEAU, J.F.; GUYOT, S. Inhibition of apple polyphenol oxidase activity by procyanidins and polyphenol oxidation products. *J. Agric. Food Chem.* v. 52, p.122–130, 2004.

LEE, D. E., PARK, K. M., CHOI, S. J., CHANG, P. S. Optimal production and structural characterization of erythorbyl laurate obtained through lipase-catalyzed esterification. *Food Science and Biotechnology* v. 21, n.4, p. 1209-1215, 2012.

LEE, J.; PARK, H. J.; LEE, C.; CHOI, W. Extending shelf-life of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents. *LWT-Food Science and Technology*, Elsevier, v. 36, p. 323–329, 2003.

LI, Y.; SCHELLHORN, H. E. New developments and novel therapeutic perspectives for vitamin C. *The Journal of nutrition*, v. 137, n.10, p. 2171-2184, 2007.

LIN, W.Z.; NAVARATNAM, S.; YAO, S.D.; LIN, N.Y., Antioxidative properties of hydroxycinnamic acid derivatives and a phenylpropanoid glycoside. A pulse radiolysis study. *Radiation Physics and Chemistry*, v. 53, p. 425–430, 1998.

LIN, Y.Y., LIN, H., ZHANG, S., CHEN, Y., CHEN, M., LIN, Y.Y. The role of active oxygen metabolism in hydrogen peroxide-induced pericarp browning of harvested longan fruit. *Postharvest Biol. Technol.* v. 96, p. 42–48, 2014.

LIU, L.; CAO, S.; XU, Y.; ZHANG, M.; XIAO, G.; DENG, Q.; XIE, B. Oxidation of (-) epicatechin is a precursor of litchi pericarp enzymatic browning. *Food Chemistry*, v.118, n.3, p.508-511, 2010.

LUNA-GUZMÁN, I.; CANTWELL, M.; BARRETT, D.M. Fresh-cut cantaloupe: E

MAGRIN, F. P.; ARGENTA, L.C.; AMARANTE, C. V. T.; MIQUELOTO, A.; HAWERROTH, M. C.; MACEDO, C. K. B.; DENARDI, F.; KVITSCHAL, M. V. Índices de maturação para o ponto ideal de colheita de maçãs ‘SCS425 Luiza’. *Agropecuária Catarinense*, Florianópolis, v.30, n.3, p.55-60, 2017.

MAHAJAN, P. V.; CALEB, O. J.; SINGH, Z.; WATKINS, C. B.; GEYER, M. Postharvest treatments of fresh produce. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, The Royal Society Publishing, v. 372, n. 2017, p. 20130309, 2014.

MANOLOPOULOU, E., VARZAKAS, T. Effect of storage conditions on the sensory quality, colour and texture of fresh-cut minimally processed cabbage with the addition of ascorbic acid, citric acid and calcium chloride. *Food and Nutrition Sciences*, v. 2, n.1, 2011.

MANOLOPOULOU, E., VARZAKAS, T. Effect of storage conditions on the sensory quality, colour and texture of fresh-cut minimally processed cabbage with the addition of ascorbic acid, citric acid and calcium chloride. *Food and Nutrition Sciences*, v. 2, n. 1, p. 956–963, 2011.

MANURAKCHINAKORN S., CHAMNAN U. AND MAHAKARNCHANAKUL W. Appearance and texture changes of modified atmosphere-packed fresh-cut mangosteen after preservative dips. *J. Food Process. Preserv.* v. 36. n.6, p.504, 2012.

MANZOCCO, L.; MASTROCOLA, D.; NICOLI, M.C.; MARANGONI, V. Review of non-enzymatic browning and antioxidant capacity in processed foods. *Trends Food Sci. Technol.* v. 11, p. 340–346, 2001.

MARTIN-BELLOSO O., SOLIVA-FORTUNY R. *Advances in fresh-cut fruits and vegetables processing*. Boca Raton, CRC Press, 2011. 386p.

MATA, M. C. S.; HURTADO, M. C.; MARQUÉS, C. D.; ISASA, M. E. T. Comparison of high-performance liquid chromatography and spectrofluorimetry for vitamin C analysis of green beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Eur Food Res Technol*, v. 210, p. 220–225, 2000.

MAXMEN, A. Genetically modified apple reaches US stores, but will consumers bite? *Nature*, v.551, n.7679, p.149–150. 2017.

MELO, A. A. M.; VILAS BOAS, E. V. B. Inibição do escurecimento enzimático de banana maçã minimamente processada. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 26, n. 1, p. 110-115, 2006.

MISHRA, B. B., GAUTAM, S., SHARMA, A. Free phenolics and polyphenol oxidase (PPO): The factors affecting post-cut browning in eggplant (*Solanum melongena*). *Food Chemistry*, v. 139, p. 105–114, 2013.

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*, v. 7, p. 405-410, 2002.

MORENO, M, B.; CANTILLANO, R. F. F.; ROMBALDI, C. V.; MANICA-BERTO, R. Quality of minimally processed ‘Fuji’ apple under refrigerated storage and treatment with additives. *Revista Brasileira de Fruticultura [online]*. v.38, n.4, e-532, 2016.

MURATA, M.; TSURUTANI, M.; TOMITA, M.; HOMMA, S.; KANEKO, K. Relationship between apple ripening and browning: changes in polyphenol content and polyphenol oxidase. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 43, n. 5, p. 1115 -1121, 1995.

MURPHY, L.J.; ROBERTSON, K.N.; HARROUN, S.G.; BROSSEAU, C.L.; WERNER-ZWANZIGER, U.; MOILANEN, J.; TUONONEN, H.M.; CLYBURN, J.A.C. A simple complex on the verge of breakdown: Isolation of the elusive cyanofolate ion. *Science*, v. 344, n. 6179, p. 75–78, 2014.

NASCIMENTO, K.O.; AUGUSTA, I.M.; RODRIGUES, N.R.; PIRES, T.; BATISTA, E.; JÚNIOR, J.L.B.; BARBOSA, M.I.M.J. Alimentos minimamente processados: uma tendência de mercado. *Acta tecnológica*. v. 9. n. 1. p. 48-61, 2014.

NIAMNUY, C. et al. Kinetics of astaxanthin degradation and color changes of dried shrimp during storage. *Journal of Food Engineering*, v. 87, n.4, p. 591–600, 2008.

NICOLI, M.C., ANESE, M., PARPINEL, M. Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetable. *Trends Food Sci. Technol.* v. 10, p. 94–100, 1999.

NOGUEIRA, A.; AYOUB, B.; WOSIACKI, G. Processamento de suco e de fermentado de maçã: aptidão de 14 variedades. *Brazilian Journal of Food Technology*, 2004.

NOKTHAI, P.; LEE, V.S.; SHANK, L. Molecular Modeling of Peroxidase and Polyphenol Oxidase: Substrate Specificity and Active Site Comparison. *Int. J. Mol. Sci.* v. 11, p. 3266–3276, 2010.

OLIVAS, G.I.; D.S. MATTINSON; BARBOSA-CÁNOVAS, G.V. Alginate coatings for preservation of minimally processed Gala apples. *Postharvest Biology & Technology* v., 45, p. 89-96. 2007.

OMS-LIU, G.; SOLIVA-FORTUNY, R.; MARTÍN-BELLOSO, O. Edible coatings with antibrowning agents to maintain sensory quality and antioxidant properties of freshcut pears. *Postharvest Biology and Technology, Amsterdam*, v. 50, p. 87 – 94, 2008.

OYARZÚN, A., et al. Cutting and temperature of preservation effect on the physiological activity and quality of fresh cut 'Packham's Triumph' and 'Shinco' pears. *Acta Horticulturae*. n. 1209 p. 281-290, 2018.

ÖZDEMİR, K. S.; GÖKMEN, V. Effect of Chitosan-Ascorbic Acid Coatings on the Refrigerated Storage Stability of Fresh-Cut Apples. *Coatings*, v. 9, n. 503, p. 1-12, 2019.

PAJAK, P., SOCHA, R., ŁAKOMA, P., FORTUNA, T. Antioxidant properties of apple slices stored in starch-based films. *International Journal of Food Properties*, v. 20, n. 5, p. 1117-1128, 2017.

PEREZ-CABRERA L., CHAFER M., CHIRALT A., GONZALEZ-MARTINEZ C. Effectiveness of antibrowning agents applied by vacuum impregnation on minimally processed pear. *LWT - Food Sci. Technol.* v. 44, n. 10, 2273, 2011.

PERSIC, M.; MIKULIC-PETKOVSEK, M.; SLATNAR, A.; VEBERIC, R. Chemical composition of apple fruit, juice and pomace and the correlation between phenolic content, enzymatic activity and browning. *LWT-Food Science and Technology, Elsevier*, v. 82, p. 23–31, 2017.

PETKOVŠEK, M.M., ŠTAMPAR, F., VEBERIČ, R. Parameters of inner quality of the apple scab resistant and susceptible apple cultivars (*Malus domestica* Borkh.). *Scientia Horticulturae*, p. 114:37-44, 2007.

PETRI, J.L.; LEITE, G.B.; COUTO, M.; FRANCESCOTTO, P. Avanços na cultura da macieira no Brasil. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 33, n. 1, p. 48-56, 2011.

PIAGENTINI, A.M.; PIROVANI, M.E. Total phenolics content, antioxidant capacity, physicochemical attributes, and browning susceptibility of different apple cultivars for minimal processing. *International Journal of Fruit Science*. v. 17, p. 102–116, 2017.

PIZATO, S. et al. Efeito da aplicação de diferentes revestimentos comestíveis na conservação de maçãs 'Royal Gala' minimamente processadas. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*, v. 34, n. 1, p. 253-264, 2013.

- PODSEDEK, A., J.; WILSKA-JESZKA, B.; ANDERS, J.; MARKOWSKI. Compositional characterization of some apple varieties. *Eur. Food Res. Technol.* v. 210, p. 268–272, 2000.
- PUTNIK, P., BURSAC KOVAČEVIĆ, D., HERCEG, K., LEVAJ, B. Influence of cultivar, anti-browning solutions, packaging gasses, and advanced technology on browning in fresh-cut apples during storage. *Journal of Food Process Engineering*, v. 40, n. 2, p. 1-11, 2016.
- QI, H., HU, W., JIANG, A., TIAN, M., LI, Y. Extending shelf-life of Fresh-cut 'Fuji' apples with chitosan-coatings. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* v. 12, n. 1, p. 62-66, 2011.
- QI, Z.; CHEN, C.; HUI, Z.F.; ZHONG, H.W.; LEI, Z.; YUAN, X.Y. Correlation between enzymatic browning inhibition by UV-C treatment and reactive oxygen species metabolism of fresh-cut apples. *China Food Publishing Co.* v.40, n.5, p. 102-109, 2019.
- RAMALHO V.C.; JORGE N. Antioxidants used in oils, fats and fatty foods. *Quim. Nova* v. 29, n. 4, 2006.
- RAUDONE, L., RAUDONIS, R., LIAUDANSKAS, M., JANULIS, V. Phenolic antioxidant profiles in the whole fruit, flesh and peel of apple cultivars grown in Lithuania. *Sci. Hortic.* v. 216, p. 186–192, 2017.
- RAYBAUDI-MASSILIA, R. M.; MOSQUEDA-MELGAR, J.; SOBRINO-LÓPEZ, A.; SOLIVAFORTUNY, R.; MARTÍN-BELLOSO, O. Shelf-life extension of fresh-cut "Fuji" apples at different ripeness stages using natural substances. *Postharvest Biology and Technology*, v.45, n.2, p.265-275, 2007.
- REIS, C. M. F.; VILAS BOAS, E. V. B.; BOARI, C. A.; PÍCCOLI, R. H. Qualidade e vida de prateleira de banana prata minimamente processada. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 28, n. 3, p. 702-708, 2004.
- RIBEIRO, J. A. et al. Erythorbic acid and sodium erythorbate effectively prevent pulp browning of minimally processed 'Royal Gala' apples. *Ital. J. Food Sci.*, v. 31, p. 573-590, 2019a.
- RIBEIRO, J. A. et al. Evaluation of pulp browning in minimally processed 'Royal Gala' apple treated with erythorbic acid. *Carpathian Journal of Food Science and Technology*. v. 11, n. 1, p. 5-18, 2019b.
- RIBEIRO, J.A. Agentes coadjuvantes na preservação de maçã (*Malus domestica* Borkh.) minimamente processada. 112 p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal De Pelotas, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Pelotas – RS. 2016.
- RICHARDSON, T.; HYSLOP, D. B. Enzimas. *Química de los alimentos*, p. 501-503, 2000.
- ROCHA, A.M.C.N.; MORAIS, A.M.M.B. Shelf life of minimally processed apple (cv. Jonagored) determined by color changes. *Food Control*, Guildford, v. 14, n. 1, p. 13–20, 2003.
- RODRÍGUEZ-ARZUAGA, M.; RIOS, G.; PIAGENTINI, A.M. Mild heat treatments before minimal processing reduce browning susceptibility and increase total phenolic

content of low-chill apple cultivars. *Journal of Food Processing and Preservation*. V. 43, n.11, p. 1-10, 2019.

ROESLER, R. et al. Atividade antioxidante de frutas do cerrado. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v.27, n.1, p.53-60, 2007.

ROJAS-GRAU, M. A., SOLIVA-FORTUNY, R., MARTIN-BELLOSO, O. Effect of natural antibrowning agents on color and related enzymes in fresh-cut Fuji apples as an alternative to the use of ascorbic acid. *Journal of Food Science* v. 73. n. 6, p. S267-S272, 2008.

ROJAS-GRAÜ, M.A.; SOBRINO-LÓPEZ, A.; TAPIA, M.S.; MARTÍN-BELLOSO, O. Browning inhibition in fresh-cut "Fuji" apple slices by natural antibrowning agents. *Journal of Food Science*; v.31; n.71(1), p. S59–S65. 2006.

RUFINO, M.S.M. et al. Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH. *Fortaleza: Embrapa, Comunicado Técnico*, n.127, 4 p., 2007a.

RUFINO, M.S.M. et al. Metodologia Científica: Determinação da atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre ABTS. *Fortaleza: Embrapa, Comunicado Técnico*, n.128, 4 p., 2007b.

RUX, G.; CALEB, O.J.; FRÖHLING, A.; HERPPICH, W.B.; MAHAJAN, P.V. Respiration and storage quality of fresh-cut apple slices immersed in sugar syrup and orange juice. *Food Bioprocess Technol.* v.10, p.2081–2091, 2017.

SABA, M.K.; SOGVAR, O.B. Combination of carboxymethyl cellulose-based coatings with calcium and ascorbic acid impacts in browning and quality of fresh-cut apples. *Food Science and Technology*, Amsterdam, v.66, p.165-171, 2016.

SACHINI, R.; FENILI, C. L.; SCAPIN, V. L. V.; SCHVEITZER, B.; DE MARTIN, M. S.; STEFFENS, C. A. Composição nutricional de maçãs das cultivares Kinkas e Baronesa. *Congrega Urcamp*, v. 15, n. 15, p. 601-614, 2018.

SACHINI, R.; STEFFENS, C.A.; DE MARTIN, M.S.; SCHVEITZER, B.; FENILI, C.L.; PETRI, J.L. Mineral contents in the skin and flesh of fruits of apple cultivars. *Revista Brasileira de Fruticultura*. v. 42, n. 2, 2020.

SALATA, A. C., CARDOSO, A. I., EVANGELISTA, R. M., MAGRO, F. O. Uso de ácido ascórbico e cloreto de cálcio na qualidade de repolho minimamente processado. *Horticultura Brasileira* v.32, p. 391-397, 2014.

SANCHIS E., MATEOS M., PEREZ-GAGO M.B. Physicochemical, sensory, and nutritional quality of fresh-cut "rojo brillante" persimmon affected by maturity stage and antibrowning agents. *Food Sci. Technol. Int.* v. 22, n. 7, 574, 2016.

SAPERS, G. M.; MILLER, R. L. Browning inhibition in fresh-cut pears. *Journal of Food Science*, v. 63, n. 2, p. 342-346, 1998.

SEIFERT, M. Efeito do tempo de armazenamento refrigerado de maçã cv. 'Gala', in natura: na qualidade sensorial, físico-química e bioquímica de produto minimamente processado em fatia, com epiderme, tratado com eritorbato de sódio e três diferentes coberturas comestíveis. 152 p. Tese (Doutorado), Universidade Federal De Pelotas, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Pelotas – RS. 2017.

SERRA, S.; ANTHONY, B.; SESILLO, F.B.; MASIA, A.; MUSACCHI, S. Determination of Post-Harvest Biochemical Composition, Enzymatic Activities, and Oxidative Browning in 14 Apple Cultivars. *Foods*. v. 10, n. 186. p. 1-16, 2021.

SHRESTHA, L., KULIG, B., MOSCETTI, R., MASSANTINI, R., PAWELZIK, E., HENSEL, O., STURM, B. Optimisation of physical and chemical treatments to control browning development and enzymatic activity on fresh-cut apple slices. *Foods*, v. 9, n. 76, p. 1-21, 2020.

SILVA, M.V.; ROSA, C.I.L.F.; VILAS BOAS, E.V.B. conceitos e métodos de controle do escurecimento enzimático no processamento mínimo de frutas e hortaliças. *Boletim Do Centro De Pesquisa De Processamento De Alimentos*, v. 27, n. 1, p. 83-96, 2009.

SMIRNOFF, N. WHEELER, G.L. Ascorbic Acid in Plants: Biosynthesis and Function. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology*, v. 35, n. 4, p. 291-314, 2000.

SON, S. M., MOON, K. D., LEE, C. Y. Inhibitory effects of various antibrowning agents on apple slices. *Food Chemistry*. v. 73, n. 1, p. 23-30, 2001.

SON, S. M., MOON, K. D., LEE, C. Y. Inhibitory effects of various antibrowning agents on apple slices. *Food Chemistry*. v. 73, n. 1, p. 23-30, 2001.

SOUZA, B, S.; DURIGAN, J. F.; DONADON, J. R, LIMA, M. A. Qualidade e comportamento do mamão 'formosa' minimamente processado. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 8, n. 3, p. 243-247, 2005.

STAMOGIANNOU, I., VAN CAMP, J., SMAGGHE, G., VAN DE WALLE, D., DEWETTINCK, K., RAES, K. Impact of phenolic compound as activators or inhibitors on the enzymatic hydrolysis of cellulose. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 186, p. 174–180, 2021.

STANGER, M.C.; ARGENTA, L.C.; STEFFENS, C.A.; AMARANTE, C.V.T. estágio de maturação para o período Ideal de colheita de maçãs 'Daiane' destinadas à armazenagem. *Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal*, v. 35, n.4, p.977-989, 2013.

STANGER, M.C.; STEFFENS, C.A.; SOETHE, C.; MOREIRA, M.A.; DO AMARANTE, C.V.T. Phenolic content and antioxidant activity during the development of 'Brookfield' and 'Mishima' apples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 65, n. 17, p. 3453-3459, 2017.

STANGER, M.C.; STEFFENS, C.A.; SOETHE, C.; MOREIRA, M.A.; DO AMARANTE, C.V.T.; BOTH, V.; BRACKMANN, A. Phenolic compounds content and antioxidant activity of 'Galaxy' apples stored in dynamic controlled atmosphere and ultralow oxygen conditions. *Postharvest Biology and Technology, Amsterdam*, v. 144, p. 70-76, 2018.

SUBHASHREE, S. N.; SUNOJ, S.; XUE, J.; BORA, J. C. Quantification of browning in apples using colour and textural features by image analysis. *Food Quality and Safety*, v. 1, n. 3, p. 221–226, 2017.

SUN, W.-J., ZHAO, H.-X., CUI, F.-J., LI, Y.-H., YU, S.-L., ZHOU, Q., QIAN, J.-Y., DONG, Y. D-isoascorbyl palmitate: lipase-catalyzed synthesis, structural characterization and process optimization using response surface methodology. *Chemistry Central Journal*. v. 7. n.1, p. 114, 2013.

SUN, Y., XU, W., ZHANG, W., HU, Q., & ZENG, X. Optimizing the extraction of phenolic antioxidants from kudingcha made from *Ilex kudingcha* C. J. Tseng by using response surface methodology. *Separation and Purification Technology*, v. 78, n.3, p. 311-320, 2011.

SUZUKI, A.H.; OLIVEIRA, L.S.; FRANCA, A.S. The Effect of Variations in Fresh-Cut Apple Composition on the Performance of Polyvinyl Chloride Active Films. *Food and Bioprocess Technology*. v. 14, p. 352–361, 2021.

TANG, T.; XIE, X.; REN, X.; WANG, W.; TANG, X.; ZHANG, J.; WANG, Z. A difference of enzymatic browning unrelated to PPO from physiology, targeted metabolomics and gene expression analysis in Fuji apples. *Postharvest Biology and Technology*, v.170 n. 111323, 2020.

TAPPI, S. et al. Browning response of fresh-cut apples of different cultivars to cold gas plasma treatment. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, v. 53, p. 56-62, 2019.

TAZAWA, J., OSHINO, H., KON, T., KASAI, S., KUDO, T., HATSUYAMA, Y., FUKASAWA-AKADA, T., YAMAMOTO, T., KUNIHISA, M. Genetic characterization of flesh browning trait in apple using the non-browning cultivar 'Aori 27'. *Tree Genet. Genomes*. v. 15, n. 49, 2019.

TECHAKANON C., BARRETT D.M. The effect of calcium chloride and calcium lactate pretreatment concentration on peach cell integrity after high-pressure processing. *Int. J. Food Sci. Technol.* v. 52, n. 3, 635, 2017.

TOMÁS-BARBERÁN, F.A.; ESPÍN, J. C. Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v.81, n.09, p.853-876, 2001.

TOMÁS-BARBERÁN, F.A.; ESPÍN, J.C. Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *J. Sci. Food Agric.* v. 81, p. 853–876, 2001.

TSAO, R.; YANG, R.; YOUNG, J.C.; ZHU, H. Polyphenolic profiles in eight apple cultivars using high-performance liquid chromatography (HPLC). *J. Agric. Food Chem.* v. 51, p. 6347–6353, 2005.

VALDERRAMA, P.; MARANGONI, F.; CLEMENTE, E. Efeito do tratamento térmico sobre a atividade de peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PPO) em maçã (*Mallus comunis*). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 21, n. 3, p. 321-325, 2001.

VALENTINES, M.C.; VILAPLANA, R.; TORRES, R.; USALL, J.; LARRIGAUDIÈRE, C. Specific roles of enzymatic browning and lignification in apple disease resistance. *Post. Biol. Tech.* v. 36, p. 227–234, 2005.

VARELA, P; SALVADOR, A; FISZMAN, S.M. The use of calcium chloride in minimally processed apples: A sensory approach. *Eur Food Res Technol.* n. 224, p. 461–467, 2007.

VARMIG, C.; PETERSEN, M. A.; TOLDAM-ANDERSEN, T. B. Ascorbic acid contents in Danish apple cultivars and commercial apple juices. *LWT - Food Science and Technology*, v.54, n.2, p.597–599, 2013.

VELASCO, R.; ZHARKIKH, A.; AFFOURTIT, J.; DHINGRA, A.; CESTARO, A.; KALYANARAMAN, A.; FONTANA, P.; BHATNAGAR, S.K.; TROGGIO, M.; PRUSS, D.; et al. The genome of the domesticated apple (*Malus domestica* Borkh.). *Nat. Genet.* v. 42, p. 833–839, 2010.

VENTURA-AGUILAR R.I., COLINAS-LEON M.T. AND BAUTISTA-BANOS S. Combination of sodium erythorbate and citric acid with map, extended storage life of sliced oyster mushrooms. *LWT - Food Sci. Technol.* v. 79, n. 437, 2017.

VERVERIDIS, P.; JOHN, P. Complete recovery in vitro of ethylene-forming enzyme activity. *Phytochemistry*, v. 30, n. 3, p. 725–727, 1991.

VOLZ, R., ORAGUZIE, N., WHITWORTH, C., HOW, N., CHAGNÉ, D., CARLISLE, C., et al. Red flesh breeding in apple—progress and challenges. *Acta Hort.* v. 814, p. 337–342, 2009.

VRHOVSEK, U.; RIGO, A.; TONON, D.; MATTIVI, F. Quantitation of polyphenols in different apple varieties. *J. Agric. Food Chem.* v. 52, p. 6532–6538, 2004.

WANG, L., ZHANG, H., JIN, P., GUO, X., LI, Y., FAN, C., WANG, J., ZHENG, Y. Enhancement of storage quality and antioxidant capacity of harvested sweet cherry fruit by immersion with β -aminobutyric acid. *Postharvest Biol. Technol.* v. 118, p. 71–78, 2016.

WATANABE, Y., FUKUDA, T., TAKAHASHI, N., ADACHI, S. Optimal Conditions for Lipase-catalyzed Condensation of Erythorbic Acid with Fatty Acids in Organic Solvents. *Japan Journal of Food Engineering*, v. 15, n. 3, p. 143-148, 2014.

WEAVER, C.M.; DWYER, J.; FULGONI, V.L.; KING, J.C.; LEVEILLE, G.A.; MACDONALD, R.S.; ORDOVAS, J.; SCHNAKENBERG, D. Processed foods: Contributions to nutrition. *Am. J. Clin. Nutr.* v. 99, p. 1525–1542, 2014.

WEN, Y.T.; LIANG, Y.U.Q.; CHAI, W.M.; WEI, Q.M.; YU, Z.Y.; WANG, L.J. Effect of ascorbic acid on tyrosinase and its anti-browning activity in fresh-cut Fuji apple. *Journal of Food Biochemistry*. v. 45, n. 12, 2021.

WOJDYŁO, A.; OSZMIANSKI, J. Antioxidant Activity Modulated by Polyphenol Contents in Apple and Leaves during Fruit Development and Ripening. *Antioxidants.*, v. 9, n. 567, p. 1-12, 2020.

WU, J.; GAO, H.; ZHAO, L.; LIAO, X.; CHEN, F.; WANG, Z.; E HU, X. Chemical compositional characterization of some apple cultivars. *Food Chemistry*, v. 103, n.1, p. 88-93. 2007.

XU, K. The next generation biotechnology for apple improvement and beyond: The CRISP/cas9 story. *N. Y. Fruit Q.* v. 21, p.19–22, 2013.

YOKOTANI, N., URAJI, M., HARA, M., HIHARA, S., HATANAKA, T., ODA, K. Low accumulation of chlorogenic acids represses reddening during flesh browning in Japanese peach “Okayama PEH7.” *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, v. 81, n. 1, p. 147–152, 2017.

ZHANG J., ZHAO P., LIU B. AND MENG X. Use of oligochitosan as an inhibiting agent of apple juice enzymatic browning. *J. Food Process. Preserv.* V. 41 n. 4, 2017.

ZHANG, X.; MENG, W.; CHEN, Y.; PENG, Y. Browning inhibition of plant extracts on fresh-cut fruits and vegetables—A review. *Journal of Food Processing and Preservation*. v. 46, n. 5, 2022.

ZHANG, Z., HUBER, D.J., QU, H., YUN, Z., WANG, H., HUANG, Z., HUANG, H., JIANG, Y. Enzymatic browning and antioxidant activities in harvested litchi fruit as influenced by apple polyphenols. *Food Chem*. v. 171, p. 191–199, 2015.

ZHOU, L.; LIAO, T.; LIU, W.; ZOU, L.; LIU, C.; TEREFE, N. S. Inhibitory effects of organic acids on polyphenol oxidase: From model systems to food systems. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, Taylor & Francis, v. 60, n. 21, p. 3594–3621, 2020.

ZHOU, P.; SMITH, N.L.; LEE, C.Y. Potential purification and some properties of Monroe apple peel polyphenol oxidase. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, v. 41, p. 532-536, 1993.