

Aplicação foliar de boro e ethephon sobre a maturação e conservação pós-colheita de maçãs 'Galaxy'

Foliar application of boron and ethephon on postharvest ripening and conservation of 'Galaxy' apples

Rogerio de Oliveira Anese *^(ORCID 000-0002-9909-0469), Eliton Dines Ribeiro de Andrade ^(ORCID 0009-0005-1259-1404)

Instituto Federal de Santa Catarina, Urupema, SC, Brasil. *Autor para correspondência: rogerio.anese@ifsc.edu.br

Submissão: 21 de Agosto, 2024 | Aceite: 19 de Fevereiro, 2025

RESUMO

O boro (B) e o ethephon têm sido utilizados em pulverizações foliares na pré-colheita para antecipar a maturação de maçãs (*Malus domestica* Borkh.), contudo existem relatos de possíveis efeitos negativos durante a conservação pós-colheita dos frutos. Neste contexto o objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação foliar de boro e ethephon em pré-colheita sobre a maturação e capacidade de conservação de maçãs 'Galaxy' em armazenamento refrigerado por quatro meses mais sete dias de vida de prateleira a 15 °C. O experimento foi conduzido em pomar comercial, no município de Urupema - SC, durante a safra 2020/2021. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, sendo quatro tratamentos com três repetições. Os tratamentos foram aplicados via foliar em pré-colheita da seguinte forma, controle (sem aplicação); boro 3 g L⁻¹ (4 aplicações); boro 3 g L⁻¹ + ethephon 300 mg L⁻¹ e ethephon 300 mg L⁻¹. Foram determinados os atributos relacionados com a qualidade e conservação dos frutos na colheita, sendo que esta foi realizada em duas etapas com intervalo de dez dias, e após o armazenamento. A maturação dos frutos foi antecipada pela aplicação foliar de boro e ethephon em pré-colheita, sem alterar a cor de fundo e a intensidade de cor vermelha da epiderme. Houve redução da firmeza de polpa em função dos tratamentos após o armazenamento refrigerado por quatro meses. Dessa forma, ambos os produtos podem ser alternativa para o escalonamento da colheita, porém a comercialização dos frutos tratados e acondicionados em armazenamento refrigerado deve ser realizada antecipadamente em virtude da redução de firmeza de polpa.

PALAVRAS-CHAVE: Ácido bórico. Etileno. Macieira. *Malus domestica* Borkh. Firmeza da polpa.

ABSTRACT

Boron (B) and ethephon have been used in pre-harvest foliar sprays to anticipate apple (*Malus domestica* Borkh.) maturation, however some researchers report negative effects of these products on postharvest fruit conservation. In this context, the objective of the present study was to evaluate the effects of pre-harvest foliar application of boron and ethephon on the maturation and conservation capacity of 'Galaxy' apples in cold storage for four months plus seven days of shelf life at 15 °C. The experiment was carried out in a commercial orchard, in the municipality of Urupema - SC, during the 2020/2021 season. The experimental design used was randomized blocks, with four treatments with three replications. The treatments were applied pre-harvest foliar as follows: control (no application); 3 g L⁻¹ boron (4 applications); boron 3 g L⁻¹ + ethephon 300 mg L⁻¹ and ethephon 300 mg L⁻¹. The attributes related to the quality and conservation of the fruits at harvest were determined, which was carried out in two periods with an interval of ten days, and after storage. Fruit maturation was anticipated by foliar application of boron and ethephon in pre-harvest, without changing the background color and red intensity of the epidermis, and the reduction in flesh firmness was accelerated as a function of treatments with boron and ethephon after cold storage for four months. In this way, both compounds are confirmed as alternatives for the staggering of the harvest, but the commercialization of treated fruits and placed in refrigerated storage must be carried out beforehand due to the reduction of pulp firmness..

KEYWORDS: Boric acid. Ethylene. apple tree. *Malus domestica* borkh. Flesh firmness.

Publisher's Note: UDESC stays neutral concerning jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](#).

INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva da maçã tem lugar de destaque na fruticultura nacional, sendo fonte de renda para milhares de famílias no Sul do Brasil, com oferta de frutas com qualidade durante o ano todo, sem a dependência de importação da fruta (BUENO et al. 2021). A qualidade e o potencial de armazenamento de maçãs podem ser influenciados pelo seu estádio de maturação no momento da colheita e também pelo manejo das plantas (ARGENTA et al. 2024). Por ser fruto climatérico, a maçã apresenta elevada taxa respiratória durante o amadurecimento, a qual é estimulada pelo etileno (KLUGE et al. 1997). Maçãs do grupo ‘Gala’ possuem alta taxa metabólica comparadas a cultivar Fuji, sendo recomendado utilização de medidas para evitar uma maturação muito homogênea, e desta forma permitir que haja escalonamento na colheita dos frutos.

O escalonamento da colheita previne perdas de produção por queda em pré-colheita e deterioração pós-colheita, sendo está relacionada à colheita de frutas sobremaduras (ARGENTA & MARTIN 2018). Com o escalonamento é possível ampliar o período da colheita, possibilitando otimizar a mão de obra disponível, considerando que esta é uma das etapas mais onerosas e que mais pesa no custo total de produção, especialmente pelo custo e dificuldade de contratação de mão de obra qualificada. Além disso, escalonar o período de colheita proporciona maior flexibilidade de armazenamento e comercialização dos frutos. De acordo com PETRI et al. (2016) antecipar a colheita mediante o adiantamento da maturação é excelente oportunidade para que os produtores obtenham melhor preço na comercialização de suas frutas, visto que durante a época de colheita ocorre aumento considerável da oferta no mercado interno, ocasionando redução nos preços, principalmente no período de fevereiro a abril.

Uma possível forma de adiantar a maturação é com a aplicação pré-colheita de produtos que liberam etileno, como o ethephon. O ethephon acelera a síntese de etileno (SOETHE et al. 2021) e pode aumentar o índice de cor vermelha nos frutos e permitir a antecipação da colheita (LOONEY 2004). MACEDO et al. (2015), verificaram aumento na coloração dos frutos e maior índice de iodo-amido, sem interferências na firmeza de polpa e no teor de sólidos solúveis de maçãs ‘Pink Lady’ submetidas a aplicações de ethephon em pré-colheita. Entretanto, o ethephon pode induzir os demais atributos relacionados ao amadurecimento, como a redução da firmeza de polpa e da acidez, proporcionar a ocorrência de distúrbios fisiológico, reduzindo a vida pós-colheita dos frutos (STEFFENS et al. 2006). SOETHE et al. (2021) reportam aumento no teor de SS e etileno em maçãs ‘Baigent’ com aplicação de ethephon.

Além do ethephon, resultados demonstraram que aplicações foliares de boro podem acelerar a maturação de maçãs na planta (NACHTIGALL & CZERMAINSKI 2014, BRACKMANN et al. 2016). O B é nutriente essencial, que atua na formação da parede celular e divisão celular (DECHEM et al. 1991), na elongação celular e no metabolismo e transporte de carboidratos, na organização e funcionamento de membranas (TANADA 1983). NACHTIGALL & CZERMAINSKI (2014) verificaram a antecipação da maturação dos frutos de macieiras submetidas a aplicações foliares

de boro, mais acentuada na cultivar ‘Gala’ de sete a doze dias, enquanto que, para a cultivar ‘Fuji’, foi de três a cinco dias, antecipando assim a colheita. BRACKMANN et al. (2016) constataram maior síntese de etileno, aumento da taxa respiratória e redução da firmeza de polpa em maçãs ‘Galaxy’ tratadas com boro em pré-colheita. Não foram encontrados trabalhos avaliando a associação de boro e ethephon para antecipar a maturação de maçã ‘Galaxy’.

É importante destacar que a antecipação da maturação pode afetar tanto a qualidade, quanto a capacidade de conservação pós colheita dos frutos (NACHTIGALL & CZERMAINSKI 2014, BRACKMANN et al. 2016). Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar estratégias para antecipar a maturação de maçãs ‘Galaxy’, com aplicação foliar de boro e ethephon, de forma isolada ou combinada. Além disso, avaliar a capacidade de conservação pós-colheita dos frutos com boro e ethephon.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no município de Urupema-SC ($28^{\circ}03'29.47"S$ e $49^{\circ}54'16.11"W$, 1.328 m de altitude) em pomar comercial de macieiras (*Malus domestica* Borkh.), durante a safra 2020/2021. Os dados climáticos da safra estão na tabela 1. As plantas tinham seis anos de idade, pertenciam a cultivar Galaxy sobre porta-enxerto Marubakaido, estavam espaçadas em 5 x 2,5 m e conduzidas no sistema de líder central. O manejo do pomar foi realizado conforme as recomendações técnicas para a produção integrada de maçãs. O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, sendo quatro tratamentos com três repetições. Cada unidade experimental foi constituída por cinco plantas, distribuídas ao longo de uma fila de plantio, das quais somente as quatro primeiras foram utilizadas para as avaliações, sendo uma planta considerada como bordadura.

Tabela 1. Dados de precipitação, temperatura e umidade relativa da safra 2020/21. Estação automática Inmet (A815), São Joaquim/SC.

Table 1. Precipitation, temperature and relative humidity data from the 2020/21 harvest. Inmet automatic station (A815), São Joaquim/SC.

| Mês/Ano | Precipitação (mm) | Temperatura (°C) | Umidade relativa (%) |
|--------------|-------------------|------------------|----------------------|
| Agosto/20 | 94,4 | 12,7 | 62,7 |
| Setembro/20 | 131,2 | 14,3 | 78,4 |
| Outubro/20 | 89,2 | 14,8 | 75,0 |
| Novembro/20 | 138,6 | 15,0 | 84,0 |
| Dezembro/20 | 151,8 | 16,6 | 82,3 |
| Janeiro/21 | 261,2 | 17,1 | 85,7 |
| Fevereiro/21 | 112,6 | 16,6 | 80,3 |

Os tratamentos constituíram em aplicações foliares de boro e etefom em pré-colheita, sendo: 1) controle (sem aplicação); 2) Boro 3 g L⁻¹ (4 aplicações); 3) Boro 3 g L⁻¹ + etefom 300 mg L⁻¹; 4) etefom 300 mg L⁻¹. Como fonte de etefom, foi utilizado o produto Ethrel® contendo 24% de ingrediente ativo e como fonte do boro, o produto comercial utilizado foi o ácido bórico com 17% de concentração. As quatro aplicações de boro 3 g L⁻¹ foram realizadas entre 40 e 10 dias antes da data prevista para a primeira colheita, sendo o número de pulverizações equidistantes espaçado entre

essas datas. Os demais tratamentos foram realizados 20 dias antes da data prevista para a primeira colheita. Realizou-se a aplicação dos produtos com um atomizador costal motorizado Stihl SR-450 (pressão de trabalho de 40 psi). O volume de calda utilizado foi de 1.000 L ha⁻¹.

As colheitas foram realizadas em duas épocas, a primeira (01/02/2021) antecipada em aproximadamente dez dias, para avaliar a antecipação da maturação fisiológica dos frutos possivelmente ocasionada pela aplicação do boro e do etefom, e a segunda (11/02/2021) no momento da maturação comercial dos frutos do tratamento controle, dez dias após a primeira. A previsão da data de colheita comercial foi realizada com base na data da plena floração e considerando que o ponto de colheita comercial de maçãs 'Gala' normalmente ocorre 117 dias após a plena floração (ARGENTA & MONDARDO 1994). Em cada colheita, foram coletados 40 frutos aleatoriamente no decorrer de cada unidade experimental.

As variáveis analisadas em cada data de colheita foram: firmeza de polpa, índice de iodo-amido, sólidos solúveis, acidez titulável, cor de fundo e intensidade de cor vermelha da epiderme e taxa respiratória. Foram amostrados ao acaso 20 frutos de cada unidade experimental em cada colheita para análise de cada variável, exceto taxa respiratória. As avaliações foram realizadas no mesmo dia de cada colheita. Na segunda colheita foram amostrados aleatoriamente mais 20 frutos de cada unidade experimental para avaliação da conservação dos frutos em armazenamento refrigerado, que teve início no mesmo dia, durando quatro meses em temperatura de 1 °C e UR de 94% mais sete dias de vida de prateleira a 15 °C.

As análises foram realizadas da seguinte forma: a) Firmeza da polpa (N): determinada com o auxílio de penetrômetro portátil manual, equipado com ponteira de 11 mm de diâmetro, em duas regiões opostas, na porção equatorial dos frutos, após remoção de uma fina camada da casca; b) Índice iodo-amido: determinado pela reação do amido com uma solução com 12 g de iodo metálico e 24 g de iodeto de potássio em 1 L de água destilada. Após um corte na região equatorial dos frutos, foi aplicada a solução de iodo na superfície cortada da metade peduncular do fruto, a cor da qual foi comparada (reação do iodo com o amido) com a tabela de fotografias desenvolvida por STREIF (1984), onde o índice 01 indica o teor máximo de amido (fruto imaturo), e o índice 10 representa o amido totalmente hidrolisado (predominância de açúcares solúveis e fruto totalmente maduro); c) Índice de Streif: expresso pelo coeficiente S= Firmeza (kg/cm²)/Índice de regressão do amido (1 – 10).IR(°Brix); d) Teor de sólidos solúveis (SS): por refratometria, através da leitura direta com refratômetro digital de bancada Edutec modelo EQQ-9001. O aparelho foi calibrado com água destilada e em seguida o suco foi distribuído sobre o prisma, sendo a leitura diretamente em °Brix; e) Acidez titulável: determinada através de titulometria de neutralização com NaOH 0,1 mol L⁻¹ até pH 8,1 expressa em mEq 100 mL⁻¹, por meio de amostras compostas de suco contendo 10 mL, extraídas em centrífuga de alimentos; f) Cor de fundo e intensidade de cor vermelha da epiderme: determinadas em termos de valores de ângulo hue (h°), utilizando-se um colorímetro eletrônico Delta Color, que efetua a leitura da cor em escala tridimensional e expressa o resultado no atributo h°. O h° (ângulo hue) define a coloração básica, sendo que 0° = vermelho, 90° = amarelo e 180° = verde. Essas leituras foram efetuadas,

respectivamente, em áreas com menor (cor de fundo) e com maior presença de coloração vermelha (lado vermelho), na região equatorial de cada fruto; g) Taxa respiratória: cerca de 1.000 g de frutos foram colocados em recipientes herméticos de 2.900 mL e ficaram armazenados assim por aproximadamente uma hora. A taxa respiratória foi obtida considerando o peso dos frutos, a densidade, o volume de ar dentro do recipiente e o tempo de fechamento hermético, sendo determinada pela quantificação da produção de CO₂ no interior do recipiente, através de um analisador eletrônico Felix, modelo F-920. Os resultados foram expressos em ug CO₂ kg⁻¹ h⁻¹.

Para avaliação da conservação pós-colheita dos frutos as variáveis analisadas foram: escurecimento de polpa, polpa farinácea, incidência de podridões, sólidos solúveis, firmeza de polpa, acidez titulável e taxa respiratória. Para as variáveis que foram analisadas nas colheitas e repetidas após o armazenamento utilizou-se a mesma metodologia descrita anteriormente. Para as demais, procedeu-se da seguinte maneira: a) Escurecimento de polpa e Polpa farinácea: avaliadas por meio da contagem dos frutos que apresentavam sintomas visuais de escurecimento de polpa ou aspecto farináceo, expressas em porcentagem. b) Incidência de podridões: avaliada pela contagem dos frutos que apresentavam lesões causadas por fungos (>5mm de diâmetro), sendo expressa em porcentagem.

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk, utilizando-se o software Sisvar (FERREIRA 2014). Quando detectada anormalidade, foram transformados pela fórmula arc.sen(raiz(x+0,5)/100). Realizou-se a análise de variância para cada característica avaliada, sendo que posteriormente as médias com significância foram submetidas ao teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Com os dados que apresentaram diferença significativa, foi realizado adicionalmente uma análise de componentes principais usando o software Past 4.03.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pós-colheita

Não houve efeito significativo dos tratamentos nas variáveis cor de fundo e intensidade de cor vermelha da epiderme (Tabela 2). Resultados contrários foram obtidos por ERNANI et al. (2010) e NACHTIGALL & CZERMAINSKI (2014) que verificaram aumento da intensidade de cor vermelha com aplicação de boro algumas semanas antes da colheita. VARGAS et al. (2019) também não observaram efeito do ethephon sobre a coloração de maçãs, embora, ele tenha sido efetivo na antecipação da maturação dos frutos. O etileno ativa a expressão de genes da rota de biosíntese das antocianinas, resultando em aumento na cor da epiderme de frutos (AWAD & JAGER 2002).

Pelo índice iodo-amido, houve antecipação da maturação com a aplicação foliar de boro e ethephon (Tabela 2). Essa influência na maturação dos frutos foi mais acentuada na primeira colheita e na média das duas colheitas, onde todos os tratamentos diferiram estatisticamente do tratamento controle. NACHTIGALL & CZERMAINSKI (2014) também observaram aumento do índice iodo-amido e a antecipação da maturação de maçãs 'Gala' e 'Fuji' tratadas em pré-colheita com boro. SÁ et al. (2014) constataram que a aplicação foliar de ácido bórico (0,3%) na floração foi eficiente para aumentar o índice de amido em maçãs da cultivar 'Imperial Gala'. De

acordo com WANG & DILLEY (2001), a degradação do amido é consequência direta da indução causada pelo etileno.

Tabela 2. Coloração da epiderme (lado vermelho e cor de fundo), índice de iodo - amido e Indíce Streif em maçãs 'Galaxy' após a colheita em função dos tratamentos com boro e Ethepron em pré-colheita.

Table 2. Epidermis color (red side and background color), iodine-starch index and Streif index in 'Galaxy' apples after harvest as a function of boron and Ethepron treatments during pre-harvest

| Tratamento | Coloração da epiderme ¹ | | | | | |
|---------------------------------------|------------------------------------|----------------------------|----------|----------------------------|----------------------------|----------|
| | Lado vermelho (h°) | | | Cor de fundo (h°) | | |
| | 1 ^a colheita | 2 ^a colheita | Média | 1 ^a colheita | 2 ^a colheita | Média |
| Controle | 22,86 ns | 25,73 ns | 24,30 ns | 58,55 ns | 78,18 ns | 68,37 ns |
| Boro | 24,06 | 26,94 | 25,50 | 63,70 | 71,36 | 67,53 |
| Boro + ethephon | 23,10 | 24,98 | 24,04 | 61,63 | 68,80 | 65,22 |
| Ethepron | 24,00 | 28,58 | 26,09 | 68,43 | 73,78 | 71,11 |
| C.V. (%) | 4,05 | 9,19 | 6,93 | 9,22 | 7,62 | 9,03 |
| Índice iodo-amido ² (1-10) | | | | | | |
| Controle | 3,80 a | 4,80 a | 4,30 a | 0,192 a | 0,153 a | 0,171 a |
| Boro | 5,83 b | 6,30 ab | 6,06 b | 0,105 b | 0,100 b | 0,102 b |
| Boro + ethephon | 6,36 b | 6,43 ab | 6,40 b | 0,097 b | 0,095 b | 0,096 b |
| Ethepron | 6,10 b | 7,63 b | 6,86 b | 0,104 b | 0,077 c | 0,089 c |
| C.V. (%) | 4,44 | 13,21 | 5,2 | 36,0 | 30,8 | 32,9 |

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey em 5% de probabilidade de erro. ¹ = escala de 0° a 180°, onde 0° = vermelho, 90° = amarelo e 180° = verde. ² = escala de 1 a 10, onde 1 representa o teor máximo de amido e 10 indica o amido totalmente hidrolisado. ns = não significativo ($p>0,05$).

Os valores do índice Streif apresentam redução proporcional ao avanço da maturação e amadurecimento dos frutos (Tabela 2). Os resultados do índice Streif avaliados neste estudo demonstraram antecipação da maturação com a aplicação foliar de boro e ethephon. Na primeira colheita todos os tratamentos diferiram estatisticamente do tratamento controle. Na segunda colheita e na média de ambas, o mesmo comportamento foi observado. Os tratamentos com boro e a combinação de boro e ethephon não diferiram entre si na segunda colheita. O tratamento com ethephon foi o que apresentou maior redução do índice Streif na segunda colheita, demonstrando dessa forma maior antecipação na maturação dos frutos. Segundo ALEXANDRE (2001) este índice, permite avaliar mais corretamente o estádio de maturação do fruto visto estes parâmetros serem aqueles que mais drasticamente variam durante o período de maturação.

A acidez titulável não apresentou diferença estatística entre os tratamentos na primeira colheita (Tabela 3). WACLAWSKY (2001) também não verificou efeito do ethephon sobre a acidez titulável da maçã 'Gala'. Na segunda colheita todos os tratamentos diferiram estatisticamente do tratamento controle e considerando a média das duas colheitas os tratamentos com boro e o tratamento de boro associado ao ethephon foram mais eficientes na antecipação da maturação em relação ao ethephon. O tratamento com ethephon não apresentou diferença estatística em relação ao tratamento controle e aos demais na redução da acidez titulável.

Tabela 3. Acidez titulável, sólidos solúveis, firmeza de polpa e taxa respiratória de maçãs 'Galaxy' após a colheita em função dos tratamentos com boro e Ethephon em pré-colheita.

Table 3. Titratable acidity, soluble solids, pulp firmness and respiration rate of 'Galaxy' apples after harvest as a function of boron and Ethephon treatments in preharvest.

| Tratamento | Acidez titulável (mEq 100 mL) ¹ | | | Sólidos solúveis (° Brix) | | |
|----------------------|--|-------------------------|--|---------------------------|-------------------------|---------|
| | 1 ^a colheita | 2 ^a colheita | Média | 1 ^a colheita | 2 ^a colheita | Média |
| Controle | 5,83 ns | 5,56 a | 5,70 a | 10,60 ns | 10,86 a | 10,73 a |
| Boro | 4,86 | 4,50 b | 4,68 b | 11,48 | 11,40 ab | 11,44 b |
| Boro + ethephon | 5,06 | 4,50 b | 4,78 b | 11,40 | 11,53 bc | 11,46 b |
| Ethephon | 5,30 | 4,63 b | 4,96 ab | 11,26 | 12,13 c | 11,70 b |
| C.V. (%) | 11,44 | 6,85 | 9,01 | 5,25 | 1,93 | 3,77 |
| Firmeza de polpa (N) | | | Taxa respiratória (mL CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹) | | | |
| Controle | 75,9 a | 78,4 ns | 77,2 a | 11,17 ns | 6,94 ns | 9,05 ns |
| Boro | 68,6 b | 70,3 | 69,4 b | 12,25 | 7,48 | 9,87 |
| Boro + ethephon | 69,1 b | 69,2 | 69,2 b | 11,56 | 7,61 | 9,58 |
| Ethephon | 70,3 b | 70,0 | 70,1 b | 11,81 | 8,03 | 9,92 |
| Controle | 1,57 | 5,99 | 3,9 | 4,47 | 7,95 | 9,00 |

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey em 5% de probabilidade de erro. ns = não significativo ($p>0,05$).

Na primeira colheita o teor de sólidos solúveis (SS) não apresentou diferenças estatísticas entre os tratamentos (Tabela 3). MACEDO et al. (2015) e MAGRIN et al. (2016) também não verificaram efeito do ácido bórico aplicado em pré-colheita sobre os SS de maçãs 'Pink Lady'. Observou-se na segunda colheita aumento do teor de SS com as aplicações de boro e ethephon. O tratamento com ethephon foi o que apresentou maior teor de SS, porém não diferiu do tratamento combinado de boro e ethephon. O ethephon libera etileno no fruto e acelera sua maturação, desta maneira, aumentando a atividade de enzimas que degradam amido, resultado em maior teor de açúcares (LI et al. 2017, PESTEANU 2017), resultado também reportado por SOETHE et al. (2021). Na média das duas colheitas todos os tratamentos diferiram estatisticamente em relação ao controle e não diferiram entre si. Esses resultados corroboram com os resultados encontrados por DRÖSEMEYER et al. (2018) que observaram aumento do teor de SS de maçãs cv. Imperial Gala com aplicações de ácido bórico em pré-colheita. NACHTIGALL & CZERMAINSKI (2014) também constataram aumento de SS e a antecipação da maturação de maçãs 'Gala' tratadas em pré-colheita com boro.

Todos os tratamentos apresentaram redução de firmeza de polpa comparados ao tratamento controle na primeira colheita (Tabela 3). BRIGHENTI et al. (2017) que verificaram que maçãs 'Gala' tratadas com ethephon apresentaram valores mais baixos para firmeza de polpa, quando comparadas ao tratamento controle. Na segunda colheita não houve diferenças entre os tratamentos. De acordo com os resultados de JOHNSTON et al. (2001) e MAJUMDER & MAZUMDAR (2002), a presença de etileno é necessária para a atividade das enzimas responsáveis pela redução de firmeza de polpa. Outros autores também reportam redução da firmeza da polpa com boro ou ethephon (WANG & DILLEY 2001, DRÖSEMEYER et al. 2018, BRACKMANN et al. 2016). As aplicações de boro e ethephon resultaram na redução da firmeza de polpa dos frutos na média das duas colheitas em todos os tratamentos, sendo essa uma das variáveis mais importantes para o armazenamento de frutos. Tal resposta indica possível redução no potencial de armazenamento de frutos que

receberam aplicação foliar desses produtos. As aplicações de boro podem acelerar o metabolismo dos frutos, aumentando a produção de etileno, antecipando assim a maturação e ocasionando dessa forma a redução da firmeza de polpa (BRACKMANN et al. 2016). A taxa respiratória dos frutos por ocasião da colheita, não foi afetada pelos tratamentos (Tabela 3).

Após armazenagem e período de prateleira

Após o armazenamento refrigerado por quatro meses, com exceção da firmeza de polpa, as variáveis físico-químicos dos frutos não apresentaram diferença com as aplicações de boro e ethephon. Os distúrbios fisiológicos de pós-colheita, polpa farinácea e escurecimento de polpa também não diferiram (Tabela 4). Não houve também interação entre tratamento e dias após a armazenagem (dados não apresentados). A redução da firmeza de polpa foi antecipada pelos tratamentos com boro ou ethephon isolados, ficando próximo ao limite mínimo de comercialização estabelecido pela Instrução Normativa nº 5/2006 do MAPA que é de 40 N (9 lb) para cultivar Gala e suas mutações (BRASIL 2006). Dessa forma, percebe-se que os frutos tratados com estes produtos, acondicionados em armazenamento refrigerado devem ser comercializados antecipadamente. De acordo com PICCHIONI et al. (1995), como na cultura da macieira o boro apresenta translocação rápida, o aumento da concentração desse nutriente nos frutos pode influenciar negativamente a capacidade de conservação dos mesmos. O efeito potencial do ethephon sobre determinado processo fisiológico depende de vários fatores, incluindo a concentração endógena de etileno, o estádio fisiológico do vegetal e a temperatura (CHITARRA & CHITARRA 2005). Segundo LELIÈVRE et al. (1997) maçãs do grupo 'Gala', em função de sua elevada taxa respiratória e alta produção de etileno, apresentam rápida perda de firmeza da polpa, redução da acidez titulável e amarelecimento da cor de fundo da epiderme durante o armazenamento e o período de comercialização. A aplicação exógena de etileno pode ocasionar aceleração destes processos. Dessa forma, fica evidenciado que ao aplicar boro e/ou ethephon com a intenção de antecipar a colheita, a área que foi pulverizada com estes produtos deve ser colhida antes das demais, pois o atraso na data de colheita resulta em rápida evolução do amadurecimento dos frutos (KADER 2002) reduzindo a capacidade de armazenamento.

Tabela 4. Teor de sólidos solúveis (SS), acidez titulável, firmeza de polpa, escurecimento de polpa e polpa farinácea de maçãs 'Galaxy' após 4 meses de armazenamento refrigerado, mais sete dias de vida prateleira a 15 °C, em função dos tratamentos com boro e Ethepron em pré-colheita.

Table 4. Soluble solids (SS) content, titratable acidity, pulp firmness, pulp browning and farinaceous pulp of 'Galaxy' apples after 4 months of refrigerated storage, plus seven days of shelf life at 15°C, as a function of the treatments with boron and Ethepron in pre-harvest.

| Tratamento | SS (°Brix) | Acidez titulável (mEq 100 mL ⁻¹) | Firmeza de polpa (N) | Escurecimento de polpa (%) | Polpa farinácea (%) |
|-----------------|---------------|---|-------------------------|-------------------------------|------------------------|
| Controle | 11,83 ns | 3,9 ns | 50,6 a | 0 ns | 0 ns |
| Boro | 11,83 | 4,0 | 45,1 b | 1,07 | 1,07 |
| Boro + ethephon | 11,53 | 3,56 | 47,1 ab | 0 | 2,22 |
| Ethepron | 11,53 | 3,56 | 46,4 b | 0 | 0 |
| C.V. (%) | 4,8 | 3,59 | 2,78 | 43,6 | 73,7 |

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey em 5% de probabilidade de erro. ns = não significativo ($p>0,05$).

A incidência de podridões não diferiu com as aplicações de boro e ethephon, após o armazenamento refrigerado por quatro meses (Tabela 5). As podridões pós-colheita podem ser causadas por infecções em ferimentos e lesões gerados durante a colheita e manuseio dos frutos ou por infecções quiescentes, contaminando os frutos ainda no campo, porém os sintomas se desenvolverão somente após o armazenamento. A aplicação exógena de etileno pode ocasionar aceleração desses sintomas, potencializando a velocidade de desenvolvimento das infecções (ARAÚJO & MEDEIROS 2018), fato não observado neste trabalho. A incidência de podridões está diretamente correlacionada ao tempo de armazenagem, como o armazenamento refrigerado por quatro meses é considerado um período relativamente curto para maçãs, isto pode explicar os baixos índices de podridões demonstrados na Tabela 4, mesmo os frutos estando expostos a aplicações de boro e ethephon em pré-colheita.

Tabela 5. Taxa respiratória e incidência de podridões de maçãs 'Galaxy' após 4 meses de armazenamento refrigerado, avaliadas na saída da câmara (SC) e após sete dias de vida prateleira a 15 °C, em função dos tratamentos com Boro e Ethepron em pré-colheita.

Table 5. Respiratory rate and incidence of rot on 'Galaxy' apples after 4 months of refrigerated storage, evaluated at the exit of the chamber (SC) and after seven days of shelf life at 15°C, as a function of treatments with Boron and Ethepron in pre-harvest.

| Tratamento | Taxa Respiratória (mLCO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹) | | Podridões (%) | |
|-----------------|--|------------|------------------|------------|
| | Saída da câmara | 7 d a 15°C | Saída da câmara | 7 d a 15°C |
| Controle | 5,93 ns | 8,37 ns | 1,04 ns | 1,04 ns |
| Boro | 6,05 | 8,98 | 1,04 | 1,04 |
| Boro + ethephon | 5,96 | 9,09 | 1,04 | 1,04 |
| Ethepron | 6,52 | 9,28 | 2,08 | 2,08 |
| C.V. (%) | 7,48 | 6,8 | 64,03 | 64,03 |

ns = não significativo (p>0,05).

Estima-se que as perdas pós-colheita em maçãs, durante e após o armazenamento, alcancem o valor de 153,73 milhões de reais por ano no Brasil (OGOSHI et al. 2019). Em Santa Catarina, as perdas por podridões em pós-colheita de maçãs em condições comerciais foram responsáveis por ≈60% a 80% das perdas totais de maçãs 'Gala' e 'Fuji' durante o armazenamento, respectivamente (ARGENTA et al. 2021). No presente estudo, o índice de podridões encontrado foi baixo, não apresentando evoluções após sete dias de vida de prateleira.

A taxa respiratória não apresentou diferença entre os tratamentos (Tabela 5). A taxa de deterioração (perecibilidade) de produtos após a colheita é geralmente proporcional a sua taxa respiratória. Uma taxa elevada reduz a vida de armazenamento dos produtos. BRACKMANN et al. (2016) relataram maiores taxas respiratórias, bem como maior incidência de podridões em maçãs 'Galaxy' tratadas em pré-colheita com boro e armazenadas por oito meses em atmosfera controlada, divergindo dos resultados apresentados na Tabela 5. Dessa forma é possível observar que o tempo de armazenamento, ano de cultivo, condições do pomar e a forma de armazenagem podem influenciar diretamente na taxa respiratória e na incidência de podridões de maçãs tratadas com boro em pré-colheita.

Análise de componentes principais (ACP)

Para uma visualização dos resultados de forma integrada, foi realizado uma análise de ACP (Figura 1). O componente principal 1 (CP 1) explica mais de 89,0% da variação dos resultados, no qual pode-se observar uma separação do tratamento controle dos com boro e ethephon, aplicados isolados ou associados. Nota-se que os parâmetros índice Streif, acidez, firmeza da polpa tanto na colheita quanto após o armazenamento estavam correlacionadas com os tratamentos controle, evidenciando a menor maturação dos frutos. Por outro lado, os tratamentos com boro e ethephon apresentaram maior correlação com iodo-amido em ambas as colheitas e sólidos solúveis. Esses resultados evidenciam que os tratamentos adiantaram a maturação de maçã 'Galaxy'.

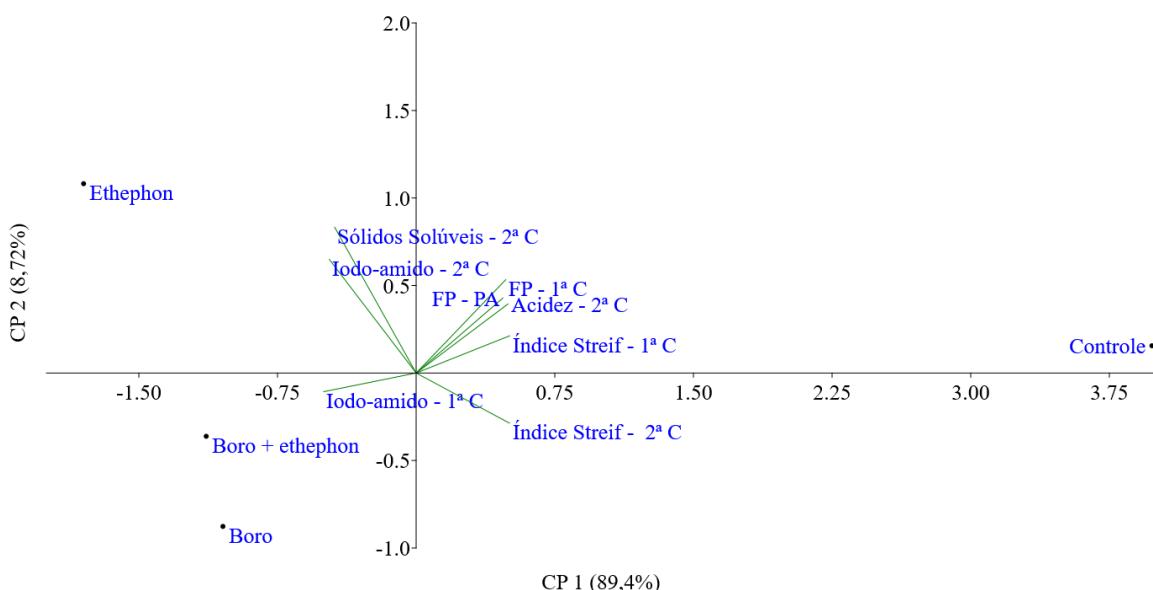


Figura 1. Análise de componentes principais maçãs 'Galaxy' após a colheita e 4 meses de armazenamento refrigerado mais sete dias de vida prateleira a 15 °C em função dos tratamentos com boro e Ethepron em pré-colheita. 1ª C = primeira colheita; PA = pós armazenagem.

Figure 1. Principal components analysis of 'Galaxy' apples after harvest and 4 months of cold storage plus seven days of shelf life at 15°C as a function of treatments with boron and Ethepron in pre-harvest. 1st C = first harvest; PA = post-storage.

CONCLUSÃO

A maturação de maçã 'Galaxy' foi antecipada pela aplicação de boro e ethephon, evidenciada pela firmeza de polpa, índice iodo-amido, índice Streif e acidez, sem alterações da taxa respiratória, coloração vermelha e cor de fundo da epiderme dos frutos, sendo ambos os produtos uma alternativa viável no manejo e escalonamento da colheita em pomares de maçã. A redução da firmeza de polpa foi acelerada nos frutos da segunda colheita em função dos tratamentos com boro e ethephon durante o armazenamento refrigerado por quatro meses, ficando próximo ao limite mínimo de comercialização, sugerindo que a comercialização deve ser realizada antecipadamente em virtude da redução de firmeza de polpa.

CONTRIBUIÇÕES DO AUTOR

Conceitualização, metodologia e análise formal, **Anese, RO e Andrade, EDR**; software e validação, **Anese, RO e Andrade, EDR**; investigação, **Anese, RO e Andrade, EDR**; recursos e curadoria de dados, **Andrade, EDR**; redação - preparação do rascunho original, **Andrade, EDR**; redação - revisão e edição, **Anese, RO e Andrade, EDR**; visualização, **Anese, RO e Andrade, EDR**; supervisão, **Anese, RO e Andrade, EDR**; administração do projeto, **Anese, RO e Andrade, EDR**; obtenção de financiamento, **Anese, RO**. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

FINANCIAMENTO

Este trabalho foi apoiado por recursos internos do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Campus Urupema.

DECLARAÇÃO DE DISPONIBILIDADE DE DADOS

Os dados podem ser disponibilizados mediante solicitação.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Campus Urupema.

CONFLITOS DE INTERESSE

Os autores declaram não haver conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDRE J. 2001. Colheita da pera 'Rocha'. In: ALEXANDRE J et al. (Eds.). O Livro da pera 'Rocha'. Portugal: Associação Nacional de Produtores de Pera 'Rocha'.
- ARAÚJO L & MEDEIROS H A. 2018. Principais doenças e seu controle. In: SEZERINO AA. (Org.). Sistema de produção para a cultura da macieira em Santa Catarina. Florianópolis: Epagri. 136p. (Epagri Sistema de Produção 50).
- ARGENTA LC & MONDARDO M. 1994. Maturação na colheita e qualidade de maçãs 'Gala' após a armazenagem. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal, São Carlos, 6:2, 135-140.
- ARGENTA LC et al. 2021. Characterization and quantification of postharvest losses of apple fruit stored under commercial conditions. HortScience 56: 608-616.
- ARGENTA LC et al. 2024. Economic analysis of the harvest date effects on quality and productivity of 'Fuji Suprema' apple. Revista Brasileira de Fruticultura 46: e-064.
- ARGENTA LC & MARTIN MS. 2018. Manejo das frutas na colheita e após a colheita. In: SEZERINO AA (Org.). Sistema de produção para a cultura da macieira em Santa Catarina. Florianópolis: Epagri. 136p. (Epagri Sistema de Produção 50).
- AWAD MA & JAGER A. 2002. Formation of flavonoids, especially anthocyanin and chlorogenic acid in 'Jonagold' apple skin: influences of growth regulators and fruit maturity. Scientia Horticulturae, Amsterdam, 93:3-4, 257-266.

- BRACKMANN A et al. 2016. Preharvest boron application and its relation with the quality of 'Galaxy' apples after harvest and controlled atmosphere storage. Ciência Rural 46: 585-589.
- BRASIL. 2006. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 05, de 15 de fevereiro de 2006. Aprovar o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade da Maçã; as Disposições Complementares e a Amostragem, Conformação da Amostra e Análise, conforme os respectivos Anexos I, II e III, desta Instrução Normativa. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 fev. 2006. Disponível em:
<https://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=805793610>. Acesso em: 19 ago. 2024.
- BRIGHENTI AF et al. 2017. Plant growth regulators to enhance fruit color of 'Gala' apples. Pesquisa Agropecuária Brasileira 52: 1118-1122.
- BUENO MP et al. 2021. Análise da comercialização da cadeia produtiva da maçã brasileira: produção, importação e exportação no período 2015 a 2019. Brazilian Journal of Development 7: 34061-34078.
- CHITARRA MIF & CHITARRA A B. 2005. Pós-colheita de frutos e hortaliças*. Lavras: Escola Superior de Agricultura de Lavras - FAEPE.
- DECHEM AR et al. 1991. Funções dos micronutrientes nas plantas. In: FERREIRA M E & CRUZ MCP. (Ed.). Micronutrientes na Agricultura. Piracicaba: POTAPOS/CNPq. p.65-97.
- DRÖSEMEYER GK et al. 2018. Escalonamento da colheita utilizando ácido bórico como antecipador na maturação em maçãs. Lages: Seminário de Iniciação Científica.
- ERNANI PR et al. 2010. Pulverizações com boro em pré-colheita antecipam o amadurecimento de maçãs. In: Congresso Brasileiro de Fruticultura, 21. Natal. Anais... São Paulo: Sociedade Brasileira de Fruticultura.
- FERREIRA DF. 2014. Sisvar: A guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. Ciência e Agrotecnologia 38: 109-112.
- JOHNSTON JW et al. 2001. Temperature induces differential softening responses in apple cultivars. Postharvest Biology and Technology 23: 185-196.
- KADER AA. 2002. Postharvest technology of horticultural products. 3.d. Los Angeles: University of California, Division of Agriculture and Natural Resources. 535 p. (Publication 3311).
- KLUGE RA et al. 1997. Fisiologia e manejo pós-colheita de frutas de clima temperado. Pelotas: Editora UFPEL.
- LELIÈVRE JM et al. 1997. Ethylene and fruit ripening. Physiologia Plantarum, Copenhagen, 101: 727-739.
- LI F et al. 2017. Ethylene effects on apple fruit cuticular wax composition and content during cold storage. Postharvest Biology and Technology 134: 98-105.
- LOONEY N. 2004. Plant growth regulators will still be needed. Good Fruit Grower 55: 14-15.

- MACEDO CKB et al. 2015. Antecipação da colheita de maçãs 'Pink Lady' pelo uso de ethephon e óleo mineral. In: Encontro Nacional de Fruticultura de Clima Temperado. Resumos... Fraiburgo: Epagri. p.46.
- MAGRIN FP et al. 2016. Aplicação pré-colheita de ácido bórico em maçãs 'Pink Lady' e suas implicações na pós-colheita dos frutos. In: Congresso Brasileiro de Fruticultura. Resumos... São Luís: SBF. 4p.
- MAJUMDER K & MAZUMDAR BC. 2002. Changes of pectic substances in developing fruits of cape-gooseberry (*Physalis peruviana* L.) in relation to the enzyme activity and evolution of ethylene. Scientia Horticulturae 96: 91-101.
- NACHTIGALL GR & CZERMAINSKI ABC. 2014. Efeito da aplicação de boro via foliar na qualidade e na colheita de frutos de macieira. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho. (Comunicado Técnico 164).
- OGOSHI C et al. 2019. Podridões pós-colheita em maçã: perdas econômicas e alternativas de manejo. Brazilian Journal of Development 5: 17093-17101.
- PESTEANU A. 2017. Effects of ethephon application on color development of 'Gala Must' apples. Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Horticulture 74: 26-32.
- PETRI JL et al. 2016. Reguladores de crescimento para frutíferas de clima temperado. Florianópolis: Epagri. 141 p.
- PICCHIONI GA et al. 1995. Retention and the kinetics of uptake and export of foliage-applied, labeled boron by apple, pear, prune and sweet cherry leaves. Journal of the American Society for Horticultural Science 120: 28-35.
- SÁ AA et al. 2014. Influência de formas de aplicação de boro na qualidade e no rendimento de maçãs (*Malus domestica*). Revista Brasileira de Fruticultura 36: 487-494.
- SOETHE C et al. 2021. Maturation of 'Baigent' apples protected by anti-hail nets and sprayed with aminoethoxyvinylglycine and ethephon. Pesquisa Agropecuária Brasileira 56: e02439.
- STEFFENS CA et al. 2006. Maturação da maçã 'Gala' com a aplicação pré-colheita de aminoetoxivinilglicina e ethephon. Ciência Rural 36: 434-440.
- STREIF J. 1984. Jod-Stärke-Test zur Beurteilung der Fruchtreife bei Äpfeln. Stuttgart: Obst und Garten.
- TANADA T. 1983. Localization of boron in membranes. Journal of Plant Nutrition 6: 743-749.
- VARGAS MB et al. 2019. Antecipação de colheita e coloração de maçãs 'Cripps Pink' em resposta ao uso de reguladores de crescimento e bioestimulantes. In: Encontro Nacional de Fruticultura de Clima Temperado. Resumos... Fraiburgo: Epagri. p.122.
- WACLAWOVSKY AJ. 2001. Controle da maturação de maçãs (*Malus domestica* Borkh.) cv. Gala, com aplicação pré-colheita de aminoetoxivinilglicina (AVG). 134 f. Dissertação (Mestre em Agronomia). Santa Maria: UFSM.
- WANG Z & DILLEY DR 2001. Aminoethoxyvinylglycine, combined with ethephon, can enhance red color development without over-ripening apples. HortScience 36: 328-331.