

MARCELO JOSÉ VIEIRA

**AVALIAÇÃO DA MATÉRIA SECA COMO INDICADOR DA
QUALIDADE DE MAÇÃS NA COLHEITA E APÓS
ARMAZENAGEM**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias do Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal.

Orientador: Dr. Luiz Carlos Argenta

**LAGES – SC
2016**

Vieira, Marcelo José
Avaliação da matéria seca como indicador da
qualidade de maçãs na colheita e após armazenagem /
Marcelo José Vieira. - Lages, 2016.

216 p.: il.; 21 cm

Orientador: Dr. Luiz Carlos Argenta

Bibliografia: p.190

Tese (doutorado) - Universidade do Estado de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias,
Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal,
Lages, 2016.

1. *Malus domestica*. 2. Maturação. 3. Sólidos
solúveis. 4. Distúrbio fisiológico. I. Vieira,
Marcelo José. II. Argenta, Luiz Carlos. III.
Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa
de Pós-Graduação em Produção Vegetal. IV. Avaliação
da matéria seca como indicador da qualidade de maçãs
na colheita e após armazenagem.


Ficha catalográfica elaborada pelo aluno.

MARCELO JOSÉ VIEIRA


**AVALIAÇÃO DA MATÉRIA SECA COMO INDICADOR DA
QUALIDADE DE MAÇÃS NA COLHEITA E APÓS
ARMAZENAGEM**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias,
da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para
obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal.


Banca examinadora:

Orientador: 


Prof. Dr. Luiz Carlos Argenta
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membros: 


Dr. Fernando José Hawerroth
Embrapa Uva e Vinho



Prof. Dr. Ivan Sestari
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Dr. Aiké Anneliese Kretzschmar
Universidade do Estado de Santa Catarina



Prof. Ph.D. Cassandro Vidal Talamini do Amarante
Universidade do Estado de Santa Catarina

Lages – SC, 30/09/2016

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Aos meus familiares: meu pai Zamilton (*in memoriam*) e minha mãe Maria, pela educação e apoio em todas as etapas da minha formação pessoal e profissional. A minha esposa Amanda e meu filho Henrique, por estarem sempre presentes e pela paciência nos momentos de humor menos favorável. Ao meu irmão Marcos, pelos ensinamentos e ao meu sobrinho Marcos Alexandre, pela alegria contagiante.

Ao meu orientador e amigo Dr. Luiz Carlos Argenta (EPAGRI), pelo incentivo, confiança e ensinamentos no desenvolvimento dos projetos e pelo empenho para que o estágio no exterior fosse possível.

A UDESC/CAV, pela oportunidade de realização do curso. Aos professores do Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, em especial aos professores Cassandro e Cristiano, pela contribuição no desenvolvimento dos projetos, ao professor Jefferson, pela disponibilidade e paciência nas dúvidas sobre estatística, a professora Aike, que não mediu esforços para que a realização do estágio no exterior fosse possível e, finalmente, ao professor Leonardo, pela ajuda nos tramites referentes a prorrogação do estágio.

A CAPES, pela concessão da bolsa de estudo no Brasil e no exterior e pela autorização para prorrogação do estágio. Ao USDA e ao US Forest pelo aceite na realização do doutorado sanduiche e pela concessão de bolsa de estudo durante parte do estágio.

A EPAGRI, por permitir a condução dos projetos na Estação Experimental de Caçador.

Aos funcionários e estagiários da EPAGRI (Caçador) pela colaboração na colheita dos frutos e análises laboratoriais, em especial ao Cleiton, Karyne, Leonardo, Elis e Fernanda. Aos

funcionários do laboratório de fisiologia e tecnologia pós-colheita do USDA (Wenatchee), pela paciência, amizade, assistência técnica e ajuda nas atividades laboratoriais, em especial Janie, Brenda e David Buchanan.

Ao Ph.D. James Mattheis (USDA) e sua esposa Darcee, pela ajuda na adaptação e orientação durante o período de estágio.

As professoras Aida Bound e Heide Collins, pela amizade e pelas aulas gratuitas de inglês.

Enfim, a todos os colegas e amigos que de uma forma ou de outra me ajudaram no vencimento desta etapa.

RESUMO

VIEIRA, Marcelo José. **Avaliação da matéria seca como indicador da qualidade de maçãs na colheita e após armazenagem.** 2016. 216 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal – Área: Biologia e Tecnologia Pós-Colheita) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages, 2016.

Os objetivos do presente estudo foram avaliar as relações entre o conteúdo de matéria seca (CMS) com os índices de maturação durante a fase final de crescimento de maçãs ‘Fuji’ e ‘Gala’ e as relações entre o CMS na colheita e a qualidade pós-colheita de maçãs ‘Fuji’, ‘Gala’ e ‘Honeycrisp’. No experimento 1 e 2, maçãs clones de ‘Fuji’ e ‘Gala’ foram colhidas em três locais (Caçador, São Joaquim e Vacaria) e, em cada local, em dois portaenxertos (Marubakaido com filtro M-9 e M-9), em 2014 e 2015. Após a colheita, maçãs ‘Fuji’ foram armazenadas sob atmosfera do ar (AA) a 0,5 °C ou sob atmosfera controlada (AC) a 0,7 °C enquanto maçãs ‘Gala’ foram armazenadas sob AC a 0,7 °C. No experimento 3 e 4, maçãs ‘Honeycrisp’ foram colhidas em diferentes pomares em Wenatchee e submetidas a quatro diferentes condições de manejo da temperatura. Regressões lineares foram empregadas para o estudo da evolução da maturação e do CMS de maçãs ‘Fuji’ e ‘Gala’ na planta. Análises de correlação foram utilizadas para avaliar a relação do CMS na colheita com a qualidade pós colheita dos frutos nos quatro experimentos. Durante a maturação de maçãs ‘Fuji’ e ‘Gala’, observou-se redução da firmeza da polpa e aumento do índice de amido e sólidos solúveis, mas as mudanças no CMS foram mínimas nesse período, indicando que o CMS não é adequado para estimar o estágio de maturação dos frutos.

O CMS se correlacionou positivamente com o teor de sólidos solúveis (SS), sendo este efeito igualmente observado em maçãs 'Gala', 'Fuji' e 'Honeycrisp', o que demonstra que este atributo pode ser empregado como indicador do teor de SS após armazenagem. A relação do CMS com a firmeza de polpa foi menos consistente do que aquela obtida para o teor de SS. O CMS foi associado com a firmeza de polpa após armazenagem em um dos dois anos estudados, para as três cultivares. Quando ocorreu, a relação foi maior em 'Fuji' (46 e 65%, dependendo da época de colheita) e 'Honeycrisp' (55%) do que em 'Gala' (<20%). Não houve relação consistente entre o CMS na colheita com a incidência de distúrbios fisiológicos e podridão após armazenagem. A incidência destas desordens foi dependente do estágio de maturação dos frutos na colheita e das condições de armazenagem e, por este motivo, foram melhor relacionados com os índices de maturação na colheita. Os resultados indicam que o CMS não é indicador adequado do estágio de maturação dos frutos na colheita e nem do potencial de armazenagem, mas pode ser empregado como indicador do teor de SS após armazenagem.

Palavras-chave: *Malus domestica*. Maturação. Sólidos solúveis. Distúrbio fisiológico.

ABSTRACT

VIEIRA, Marcelo José. **Evaluation of dry matter content as a quality index of apples at harvest and after storage.** 2016. 216 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal – Área: Biologia e Tecnologia Pós-Colheita) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages, 2016.

The objectives of this study were to evaluate the relationship between dry matter content (DMC) and maturity index of ‘Gala’ and ‘Fuji’ apple during the final period of fruit growth, and the relationship between DMC at harvest and the postharvest quality of ‘Gala’, ‘Fuji’ and ‘Honeycrisp’ apples. In the experiment 1 and 2, ‘Fuji’ and ‘Gala’ apples of different sports were harvested from three different regions (Caçador, São Joaquim and Vacaria), on two rootstocks (Marubakaido with the M-9 filter and M-9), in 2014 and 2015. After harvest, ‘Fuji’ apples were stored in refrigerated air at 0,5 °C or controlled atmosphere (CA) at 0,7 °C, while ‘Gala’ apples were only stored in CA at 0,7 °C. In the experiment 3 and 4, ‘Honeycrisp’ apples were harvested from 9 and 3 commercial orchards, respectively, in Wenatchee, and then submitted to three protocols of cooling. Changes in fruit maturity and DMC as a function of harvest date were studied by regressions analysis. Correlation analysis were used to assess the relationship between DMC at harvest and the postharvest fruit quality in all experiments. Apple fruit maturity on the tree was characterized by decrease of flesh firmness and increase of starch index and soluble solids content (SS), but small changes in DMC were verified during this period, which means that the DMC is not suitable as a maturity index. The DMC was positively correlated with the SS at harvest and after storage, regardless of apple variety, which show that DMC might be used as indicator of postharvest SS content. The relationship between

DMC at harvest and flesh firmness was less consistent than that verified for SS. The DMC was correlated with flesh firmness after storage in one of the two years, for the three varieties. The relationship between flesh firmness and DMC was higher in 'Fuji' (46 and 65%, according to harvest date) and in 'Honeycrisp' (55%) than in 'Gala' apples (<20%). There was not consistent relationship between DMC at harvest and physiological disorders or decay after storage. The disorders were better related with maturity index at harvest or with the quality attributes after storage. The results show that DMC at harvest is not suitable as maturity index or indicator of storage potentials, although it might be used to predict postharvest content of SS.

Key-words: *Malus domestica*. Maturity. Soluble solids. physiological disorder.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Firmeza de polpa, teor de sólidos solúveis, índice de degradação do amido e conteúdo de matéria seca de maçãs clones de ‘Fuji’ durante a evolução da maturação na planta. As maçãs foram colhidas periodicamente de macieiras sobre portaenxertos Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) ou M-9 (M9) durante 83 dias em Caçador 68
- Figura 2 - Firmeza de polpa, teor de sólidos solúveis, índice de degradação do amido e conteúdo de matéria seca de maçãs clones de ‘Fuji’ durante a evolução da maturação na planta. As maçãs foram colhidas periodicamente de macieiras sobre portaenxertos Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) ou M-9 (M9) durante 89 dias em São Joaquim 69
- Figura 3 - Firmeza de polpa, teor de sólidos solúveis, índice de degradação do amido e conteúdo de matéria seca de maçãs clones de ‘Fuji’ durante a evolução da maturação na planta. As maçãs foram colhidas periodicamente de macieiras sobre portaenxertos Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) ou M-9 (M9) durante 78 dias em Vacaria 70
- Figura 4 - Coeficiente de correlação de *Pearson* entre o CMS na colheita com a perda de firmeza de polpa⁽¹⁾ em maçãs clones de ‘Fuji’ (‘Mishima’, ‘Fuji Select’ e ‘Fuji Suprema’). Os frutos foram colhidos em Caçador, São Joaquim e Vacaria e, em cada local, sobre dois portaenxertos [Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) e M-9 (M9)], em 2014 (n = 54) e 2015

(n = 36).....	80
Figura 5 - Corte transversal e longitudinal representando, respectivamente, as diferentes regiões utilizadas para a determinação da firmeza de polpa (5A) ⁽¹⁾ e para a análise da severidade do distúrbio fisiológico escurecimento de polpa (5B) ⁽²⁾	96
Figura 6 - Firmeza de polpa, teor de sólidos solúveis, índice de amido e conteúdo de matéria seca de maçãs clones de ‘Gala’ durante a evolução da maturação na planta. As maçãs foram colhidas de macieiras enxertadas sobre Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) ou M-9 (M9) em Caçador. Cada ponto representa a média doze repetições de 10 frutos (n = 120 frutos) obtido da combinação de quatro clones de ‘Gala’ (‘Galaxy’, ‘Imperial Gala’, ‘Maxi Gala’ e ‘Royal Gala’) e três blocos.....	98
Figura 7 - Firmeza de polpa, teor de sólidos solúveis, índice de amido e conteúdo de matéria seca de maçãs clones de ‘Gala’ durante a evolução da maturação na planta. As maçãs foram colhidas de macieiras enxertadas sobre Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) ou M-9 (M9) em São Joaquim. Cada ponto representa a média doze repetições de 10 frutos (n = 120 frutos) obtido da combinação de quatro clones de ‘Gala’ (‘Galaxy’, ‘Imperial Gala’, ‘Maxi Gala’ e ‘Royal Gala’) e três blocos.....	99
Figura 8 - Firmeza de polpa, teor de sólidos solúveis, índice de amido e conteúdo de matéria seca de maçãs clones de ‘Gala’ durante a evolução da maturação na planta. As maçãs foram colhidas de macieiras enxertadas sobre Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) ou	

M-9 (M9) em Vacaria. Cada ponto representa a média doze repetições de 10 frutos (n = 120 frutos) obtido da combinação de quatro clones de ‘Gala’ (‘Galaxy’, ‘Imperial Gala’, ‘Maxi Gala’ e ‘Royal Gala’) e três blocos..... 100

Figura 9 - Coeficiente de correlação de *Pearson* entre o conteúdo de matéria seca com a firmeza de polpa e com o teor de sólidos solúveis de clones de ‘Gala’ na colheita. Os frutos foram colhidos em Caçador, São Joaquim ou Vacaria em plantas enxertadas sobre Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) ou M-9 (M9) em 2014 e 2015. (n = 72) 110

Figura 10 - Coeficiente de correlação de *Pearson* entre a matéria seca na colheita com a firmeza de polpa, teor de sólidos solúveis e acidez titulável de maçãs clone de ‘Gala’ após 195 (2014; gráficos a esquerda) ou 295 (2015; gráficos a direita) dias de armazenagem sob atmosfera controlada mais sete dias de prateleira a 23 °C. (n = 72) 111

Figura 11 - Incidência (1-2) de distúrbios fisiológicos (escurecimento de polpa e rachadura senescente) e podridões em maçãs clones de ‘Gala’ após 195 (2014) e 295 (2015) dias de armazenagem sob atmosfera controlada mais sete dias de prateleira a 23 °C. Os frutos foram colhidos em Caçador (CDR), São Joaquim (SJ) ou Vacaria (VAC) e, em cada local, em dois portaenxertos [Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) e M-9 (M9)] 116

Figura 12 - Alterações da firmeza de polpa de maçãs ‘Gala’ durante a armazenagem sob refrigeração a 1 °C mais sete dias de prateleira a 23 °C. A firmeza de polpa

- foi determinada por meio de penetrômetro (lb) em duas profundidades da polpa dos frutos (P1 e P2)⁽¹⁾ e por meio de sensor acústico (Aweta)..... 119
- Figura 13 - Acidez titulável (%) e teor de sólidos solúveis (%) de maçãs ‘Gala’ durante a armazenagem sob refrigeração a 1 °C mais sete dias de prateleira a 23 °C..... 121
- Figura 14 - Conteúdo de matéria seca e respiração de maçãs ‘Gala’ durante a armazenagem sob refrigeração a 1 °C mais sete dias de prateleira a 23 °C..... 122
- Figura 15 - Densidade e severidade de escurecimento de polpa em maçãs ‘Gala’ durante a armazenagem sob refrigeração a 1 °C mais sete dias de prateleira a 23 °C..... 124
- Figura 16 - Sintoma de *soft scald* (A) e *soggy breakdown* (B) em maçãs ‘Honeycrisp’ 143
- Figura 17 - Fluorescência da clorofila em maçãs ‘Honeycrisp’ armazenados em temperatura de indução do dano por frio (1 °C) após a colheita 148
- Figura 18 - Coeficiente de correlação de *Pearson* entre os atributos matéria seca, firmeza de polpa ou teor de sólidos solúveis de maçãs ‘Honeycrisp’ na colheita com a firmeza de polpa ou o teor de sólidos solúveis após armazenagem. Os frutos foram tratados ou não (Controle) com 1-MCP (1 $\mu\text{L L}^{-1}$) e, então, armazenados por sete dias a 10 °C, seguidos por 23 dias a 3 °C e 90 dias a 1 °C. Os frutos foram analisados após armazenagem mais sete dias a 23

°C. Os níveis do fator 1-MCP (Controle e 1-MCP) foram agrupados dentro de cada pomar..... 154

Figura 19 - Coeficiente de correlação de *Spearman* entre o conteúdo de matéria seca de maçãs ‘Honeycrisp’ na colheita com a incidência de *soft scald* (1-2) e *bitter pit* (1-2) após armazenagem. Um dia após a colheita, os frutos foram tratados ou não (Controle) com o gás 1-MCP ($1 \mu\text{L L}^{-1}$) e, então, armazenados por sete dias a $10 \text{ }^\circ\text{C}$, seguidos por 23 dias a $3 \text{ }^\circ\text{C}$ e 90 dias a $1 \text{ }^\circ\text{C}$. Os frutos foram analisados após armazenagem mais sete dias a $23 \text{ }^\circ\text{C}$ 160

Figura 20 - Relação entre o conteúdo de matéria seca (CMS) na colheita e a o teor de sólidos solúveis, acidez titulável e a firmeza de polpa de maçãs ‘Honeycrisp’ na colheita (gráficos A, B e C) e após armazenagem (gráfico D, E e F). Os frutos foram colhidos em 2015 em três pomares comerciais e avaliados na colheita e após armazenagem mais sete dias a $23 \text{ }^\circ\text{C}$ 172

Figura 21 - Sintomas de manchas tipo *bitter pit* (A), escurecimento calicinar (B), mancha marrom (tecido encharcado) (C) e escurecimento carpelar (D) em maçãs ‘Honeycrisp’. Os frutos foram colhidos em 2015 em três pomares comerciais. Após a colheita, os frutos foram infiltrados com solução contendo cloreto de magnésio hidratado ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; 0,15 M) e analisados após a infiltração mais 10 dias a $23 \text{ }^\circ\text{C}$ 175

Figura 22 - Incidência de *bitter pit* induzidas pelo Método passivo ou de infiltração com Mg^{2+} após a colheita e a ocorrência natural de *bitter pit* em maçãs ‘Honeycrisp’ após quatro meses de armazenagem.

Os frutos foram colhidos em 2015 em três pomares comerciais..... 181

Figura 23 - Relação entre o conteúdo de matéria seca (CMS) e a severidade de *bitter pit* (1-4) em maçãs ‘Honeycrisp’ na colheita e após 15 dias a 10 °C. Os frutos foram colhidos em 2015 em três pomares comerciais .. 184

Figura 24 - Variação do conteúdo de matéria seca de maçãs ‘Honeycrisp’ em frutos com (1) e sem (2) sintomas de *bitter pit*. Os frutos foram analisados na colheita e após armazenagem, mais sete dias a 23 °C..... 186

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Variação na colheita do conteúdo de matéria seca (CMS; %) de maçãs clones de ‘Fuji’ (‘Mishima’, ‘Fuji Select’ e ‘Fuji Suprema’) em função do portaenxerto (Marubakaido com filtro M-9; MKM9 e M-9; M9) e local de produção (Caçador, São Joaquim e/ou Vacaria)..... 74
- Tabela 2 - Coeficientes de correlação de *Pearson* entre as variáveis conteúdo de matéria seca (CMS; %), firmeza de polpa (FP; lb), teor de sólidos solúveis (SS; %), índice de degradação do amido (IA, Tabela 1-9) e acidez titulável (AT; %) determinadas em maçãs clones de ‘Fuji’ (‘Mishima’, ‘Fuji Select’ e ‘Fuji Suprema’) na colheita (Col) e após 230 dias de armazenagem sob atmosfera do ar a 0,5°C mais quatro dias a 23 °C (Arm). Os frutos foram colhidos em 2014, em estágio ideal de maturação, em três locais de produção (Caçador, São Joaquim e Vacaria) e, em cada local, sob dois portaenxertos (MKM9) e M-9 (M9)]. (n = 54)..... 75
- Tabela 3 - Coeficientes de correlação de *Pearson* entre as variáveis conteúdo de matéria seca (CMS; %), firmeza de polpa (FP; lb), teor de sólidos solúveis (SS; %), índice de degradação do amido (IA, Tabela 1-9), acidez titulável (AT; %) e pingo de mel (PM; %) determinadas em maçãs clones de ‘Fuji’ (‘Mishima’, ‘Fuji Select’ e ‘Fuji Suprema’) um dia após a colheita (Col) e após 245 dias de armazenagem sob atmosfera a 0,7 °C mais sete dias

a 23 °C (Arm). Os frutos foram colhidos em 2014, em estádio avançado de maturação, em três locais de produção (Caçador, São Joaquim e Vacaria) e, em cada local, sob dois portaenxertos (PE) [Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) e M-9 (M9)]. (n = 54)..... 76

Tabela 4 - Coeficientes de correlação de *Pearson* entre as variáveis conteúdo de matéria seca (CMS; %), firmeza de polpa (FP; lb), teor de sólidos solúveis (SS; %), índice de degradação do amido (IA, Tabela 1-9), acidez titulável (AT; %) e pingo de mel (PM; %) determinadas em maçãs clones de ‘Fuji’ (‘Mishima’, ‘Fuji Select’ e ‘Fuji Suprema’) um dia após a colheita (Col) e após 199 dias de armazenagem sob atmosfera a 0,7 °C mais sete dias a 23 °C (Arm). Os frutos foram colhidos em 2015, em estádio avançado de maturação, em dois locais de produção (Caçador e São Joaquim) e, em cada local, sob dois portaenxertos [Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) e M-9 (M9)]. (n = 36) 78

Tabela 5 - Coeficiente de correlação de *Pearson* entre o conteúdo de matéria seca na colheita (CMS; %) com a incidência de podridões (%), escaldadura superficial (%) e dano por CO₂ (%) determinados em maçãs clones de ‘Fuji’ (‘Mishima’, ‘Fuji Select’ e ‘Fuji Suprema’) após 230 dias de armazenagem sob refrigeração (2014 – colheita 1; n = 54) e 245 (2014 – colheita 2; n = 54) ou 199 (2015 – colheita 2; n = 36) dias sob atmosfera controlada. Os frutos foram colhidos em Caçador, São Joaquim e Vacaria e, em cada local, sobre dois portaenxertos [Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) e M-9 (M9)] 85

- Tabela 6 - Firmeza de polpa e índice de degradação de amido na colheita. Os frutos foram colhidos em 2014 em Caçador, São Joaquim e Vacaria em plantas enxertadas sobre Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) ou M-9 (M9) 104
- Tabela 7 - Firmeza de polpa e índice de degradação de amido de clones de ‘Gala’ na colheita. Os frutos foram colhidos em 2015 em Caçador e São Joaquim em plantas enxertadas sobre Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) ou M-9 (M9) 105
- Tabela 8 - Teor de sólidos solúveis e conteúdo de matéria seca (CMS) de clones de ‘Gala’ na colheita. Os frutos foram colhidos em 2014 em Caçador, São Joaquim e Vacaria em plantas enxertadas sobre Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) ou M-9 (M9)..... 107
- Tabela 9 - Teor de sólidos solúveis e conteúdo de matéria seca (CMS) de clones de ‘Gala’ na colheita. Os frutos foram colhidos em 2015 em Caçador e São Joaquim em plantas enxertadas sobre Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) ou M-9 (M9)..... 108
- Tabela 10 - Índice de correlação de *Pearson* entre os atributos de maturação/qualidade determinados na colheita e após armazenagem com a incidência de distúrbios fisiológicos em maçãs clones de ‘Gala, colhidas em macieiras enxertadas sobre Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) ou M-9 (M9). Os frutos foram colhidos em Caçador, São Joaquim e Vacaria e analisados na colheita e após 195 (2014) ou 295 (2015) dias de armazenagem sob atmosfera

controlada mais sete dias de prateleira a 23 °C. (n = 72)	112
Tabela 11 - Índice de correlação de <i>Pearson</i> entre os atributos de maturação/qualidade determinados na colheita e após armazenagem com a incidência de podridões em maçãs clones de ‘Gala, colhidas em macieiras enxertadas sobre Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) ou M-9 (M9). Os frutos foram colhidos em Caçador, São Joaquim e Vacaria e analisados na colheita e após 195 (2014) ou 295 (2015) dias de armazenagem sob atmosfera controlada mais sete dias de prateleira a 23 °C. (n = 72).....	113
Tabela 12 - Massa fresca, firmeza de polpa e índice de amido (IA) de maçãs ‘Gala’ na colheita.....	117
Tabela 13 - Coeficiente de correlação de <i>Pearson</i> entre os atributos físico-químico determinados durante a armazenagem com a severidade de escurecimento de polpa (1-5) de maçãs ‘Gala’ após armazenagem sob refrigeração a 1 °C mais sete dias de prateleira a 23 °C. (n = 180, para cada pomar).....	125
Tabela 14 - Coeficiente de correlação de <i>Pearson</i> entre os atributos físico-químico determinados durante a armazenagem com incidência de rachadura senescente (1-2) de maçãs ‘Gala’ após armazenagem sob refrigeração a 1 °C mais sete dias de prateleira a 23 °C. (n = 180, para cada pomar).....	126
Tabela 15 - Massa fresca, concentração interna de etileno (CIE), firmeza de polpa, índice de amido (IA) e cor	

de fundo da epiderme (<i>hue</i>) de maçãs ‘Honeycrisp’ na colheita.....	138
Tabela 16 - Teor de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), conteúdo de matéria seca (CMS) e incidência de <i>bitter pit</i> em maçãs ‘Honeycrisp’ na colheita	140
Tabela 17 - Coeficiente de correlação de <i>Pearson</i> entre o conteúdo de matéria seca (CMS) com a massa fresca (MF), firmeza de polpa (FP), Teor de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), índice de amido (IA) e incidência de <i>bitter pit</i> (BP) de maçãs ‘Honeycrisp’ na colheita.....	142
Tabela 18 - Incidência de <i>soft scald</i> (SSC), <i>soggy breakdown</i> (SB), <i>bitter pit</i> (BP), escurecimento de polpa (EP) e podridões de maçãs ‘Honeycrisp’ após armazenagem. Os frutos foram refrigerados a 1 °C em 24 horas após a colheita e analisados após quatro meses de armazenagem mais sete dias de prateleira a 23 °C	144
Tabela 19 - Índice de correlação entre os atributos de maturação/qualidade na colheita ou após armazenagem com a incidência de <i>soft scald</i> em maçãs ‘Honeycrisp’ após armazenagem. Os frutos foram colhidos em 2014 em nove pomares comerciais. Os frutos foram analisados na colheita e após quatro meses a 1 °C mais sete dias a 23 °C	147
Tabela 20 - Taxa respiratória e de produção de etileno de maçãs ‘Honeycrisp’. Um dia após a colheita, os frutos foram tratados ou não com o gás 1-MCP	

(1 μ L L⁻¹) e, então, armazenados por sete dias a 10 °C, seguidos por 23 dias a 3 °C e 90 dias a 1 °C. Os frutos foram analisados após quatro meses de armazenagem mais sete dias a 23 °C..... 150

Tabela 21 - Firmeza de polpa e teor de sólidos solúveis (SS), de maçãs ‘Honeycrisp’. Um dia após a colheita, os frutos foram tratados ou não com o gás 1-MCP (1 μ L L⁻¹) e, então, armazenados por sete dias a 10 °C, seguidos por 23 dias a 3 °C e 90 dias a 1 °C. Os frutos foram analisados após quatro meses de armazenagem mais sete dias a 23 °C..... 151

Tabela 22 - Acidez titulável (AT) e cor de fundo (*hue*) de maçãs ‘Honeycrisp’. Um dia após a colheita, os frutos foram tratados ou não com o gás 1-MCP (1 μ L L⁻¹) e, então, armazenados por sete dias a 10 °C, seguidos por 23 dias a 3 °C e 90 dias a 1 °C. Os frutos foram analisados após quatro meses de armazenagem mais sete dias a 23 °C..... 152

Tabela 23 - Incidência de podridão e *bitter pit* em maçãs ‘Honeycrisp’. Os frutos foram colhidos em nove pomares comerciais próximos a Wenatchee em 2014. Um dia após a colheita, os frutos foram tratados ou não (Controle) com o gás 1-MCP (1 μ L L⁻¹) e, então, armazenados por sete dias a 10 °C, seguidos por 23 dias a 3 °C e 90 dias a 1 °C. Os frutos foram analisados após armazenagem mais sete dias a 23 °C 157

Tabela 24 - Incidência de *soft scald* e *soggy breakdown* em maçãs ‘Honeycrisp’. Os frutos foram colhidos em 2014 em nove pomares comerciais. Um dia após a colheita, os frutos foram tratados ou não (Controle)

com o gás 1-MCP ($1 \mu\text{L L}^{-1}$) e, então, armazenados por sete dias a 10°C , seguidos por 23 dias a 3°C e 90 dias a 1°C . Os frutos foram analisados após armazenagem mais sete dias a 23°C 158

Tabela 25 - Massa fresca, firmeza de polpa, índice de amido (IA), teor de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), cor de fundo, concentração interna de etileno (CIE) e conteúdo de matéria seca (CMS) de maçãs ‘Honeycrisp’. Os frutos foram colhidos em 2015 em três pomares comerciais..... 171

Tabela 26 - Manchas do tipo *bitter pit* e mancha marrom (tipo dano mecânico) em maçãs ‘Honeycrisp’ infiltradas ou não (MP, método passivo) com solução contendo cloreto de magnésio hidratado ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; Mg^{2+}). Os frutos de ambos os tratamentos foram analisados após a infiltração mais 10 dias a 23°C 179

Tabela 27 - Escurecimento carpelar e pistilar em maçãs ‘Honeycrisp’ infiltradas ou não (MP, método passivo) com solução contendo cloreto de magnésio hidratado ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; Mg^{2+}). Os frutos de ambos os tratamentos foram analisados após a infiltração mais 10 dias a 23°C 180

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

1-MCP	1-Metilciclopropeno
~	Aproximadamente
%	Porcentagem
°C	grau Celsius
*	Significante a 5% de probabilidade
**	Significante a 1% de probabilidade
***	Significante a 0,1% de probabilidade
<	Menor
μL	Microlitro
μm	Micrometro
AC	Atmosfera controlada
ANOVA	Análise da variância
Arm	Armazenagem
ARS	<i>Agricultural Research Service</i>
AT	Acidez titulável
<i>B</i>	Coefficiente angular
BP	<i>Bitter pit</i>
Ca ²⁺	Cálcio
Ca	Cálcio
CA	Estado da <i>Califórnia</i>
CAV	Centro de Ciências Agroveterinárias
CaCl ₂	Cloreto de cálcio
CDR	Caçador
cm	Centímetros
CIE	Concentração Interna de Etileno
CMS	Conteúdo de matéria seca
Col	Colheita
CO ₂	Dióxido de carbono
DAPF	Dias após a plena floração
EP	Escurecimento de polpa
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EUA	Estados Unidos da América
Fa	Fluorescência da clorofila
FP	Firmeza de polpa
Fv	Variável fluorescência (Fm – Fo)
Fm	Fluorescência máxima da clorofila
Fo	Fluorescência mínima da clorofila
H ₂	Hidrogênio
Hg	Mercúrio
HP	Hewlett Packard
I ₂ +KI	Iodeto de potássio
IA	Índice de degradação de amido
i.a.	Ingrediente ativo
Inc.	<i>Incorporation</i>
K	Potássio
kg	Quilo
km	Quilómetro
KOH	Hidróxido de potássio
kPa	Quilopascal
h	Hora
Hg	Mercúrio
L	Litro
lb	Libras [equivalente a 4,45 Newton (N)]
Mg ²⁺	Magnésio
M ³	Metro cúbico
M9	Portaenxerto M-9
m	Metro
M	Molar
MF	Massa fresca
mim	Minuto
MIS	'Mishima'
Mg	Magnésio
MgCl ₂ 6H ₂ O	Cloreto de magnésio hidratado
MK	Portaenxerto Marubakaido
MKM9	Portaenxerto Marubakaido com filtro M-9
mL	Mililitro

mm	Milímetros
MP	Método Passivo
N ₂	Nitrogênio
N	Normal
NaOH	Hidróxido de sódio
nm	Nanômetro
ns	Não significativo ao nível de 5% de probabilidade
O ₂	Oxigênio
p	Probabilidade
PA	Pensilvânia
PF	Plena floração
pH	Potencial hidrogeniônico
PLDB	Polietileno de baixa densidade
PME	Pectinametilesterase
PSII	Foto sistema II
R ²	Coefficiente de determinação
r	Coefficiente de correlação
RS	Estado do Rio Grande do Sul
s	Segundo
SB	<i>Soggy breakdown</i>
SC	Estado de Santa Catarina
SEL	Clone 'Fuji select'
SJ	São Joaquim
SS	Teor de sólidos solúveis
SSC	<i>Soft scald</i>
SUP	Clone 'Fuji Suprema'
TM	<i>Trade Mark</i>
UR	Umidade Relativa
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina
USDA	<i>United States Department of Agriculture</i>
VAC	Vacaria
WA	Estado de <i>Washington</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	55
2	RELAÇÃO ENTRE CONTEÚDO DE MATÉRIA SECA, ÍNDICES DE MATURAÇÃO NA COLHEITA E QUALIDADE DE MAÇÃS ‘FUJI’ APÓS ARMAZENAGEM.....	59
2.1	RESUMO	59
2.2	INTRODUÇÃO.....	60
2.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	62
2.3.1	Experimento 1: Relação entre o CMS e índices de maturação na planta.....	62
2.3.2	Experimento 2: Relação entre CMS na colheita e qualidade dos frutos na colheita e após armazenagem.....	63
2.3.3	Análise da qualidade dos frutos	64
2.3.4	Delineamento experimental e análise estatística.....	65
2.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
2.4.1	Relação entre o CMS e índices de maturação na planta.....	66
2.4.2	Variações do CMS na colheita entre clones, portaenxerto e locais de produção	72
2.4.3	Relação entre conteúdo de matéria seca na colheita com a qualidade dos frutos na colheita e após armazenagem.....	73
2.5	CONCLUSÕES.....	86
3	RELAÇÃO ENTRE CONTEÚDO DE MATÉRIA SECA, ÍNDICES DE MATURAÇÃO NA COLHEITA E QUALIDADE DE MAÇÃS ‘GALA’ APÓS ARMAZENAGEM.....	87
3.1	RESUMO	87
3.2	INTRODUÇÃO.....	88

3.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	91
3.3.1	Experimento 1: Relação entre CMS e índices de maturação na planta.....	91
3.3.2	Experimento 2: Relação entre CMS na colheita e qualidade dos frutos na colheita e após armazenagem.....	92
3.3.3	Experimento 3: Relação entre CMS na colheita e qualidade após armazenagem para diferentes tempos de armazenagem.....	92
3.3.4	Análise dos frutos	93
3.3.5	Delineamento experimental e análise estatística.....	96
3.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	97
3.4.1	Experimento 1: Relação entre CMS e índices de maturação na planta.....	97
3.4.2	Experimento 2: Relação entre CMS na colheita e qualidade dos frutos na colheita e após armazenagem.....	102
3.4.3	Experimento 3: Relação entre CMS na colheita e qualidade após armazenagem para diferentes tempos de armazenagem.....	117
3.5	CONCLUSÃO.....	127
4	RELAÇÃO ENTRE MATÉRIA SECA NA COLHEITA, REDUÇÃO RÁPIDA OU EM ETAPAS DA TEMPERATURA DE ARMAZENAGEM E A QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE MAÇÃS ‘HONEYCRISP’	129
4.1	RESUMO	129
4.2	INTRODUÇÃO.....	130
4.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	133
4.3.1	Experimento 1 – Refrigeração rápida em temperatura de indução ao dano por frio (1°C).....	133
4.3.2	Experimento 2 – Refrigeração lenta, em etapas, a 1°C ...	134
4.3.3	Análise da qualidade (experimentos 1 e 2).....	135

4.3.4	Delineamento experimental e análises estatísticas (experimentos 1 e 2)	137
4.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	137
4.4.1	Maturação e qualidade dos frutos na colheita (experimentos 1 e 2)	137
4.4.2	Experimento 1 - Refrigeração rápida em temperatura de indução ao dano por frio (1°C).....	142
4.4.3	Experimento 2 - Refrigeração lenta, em etapas, a 1°C... ..	149
4.5	CONCLUSÃO.....	161
5	RELAÇÃO ENTRE MATÉRIA SECA NA COLHEITA E INCIDÊNCIA DE <i>BITTER PIT</i> EM MAÇÃS ‘HONEYCRISP’ NA COLHEITA E APÓS ARMAZENAGEM.....	162
5.1	RESUMO	162
5.2	INTRODUÇÃO.....	163
5.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	166
5.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	170
5.4.1	Qualidade dos frutos na colheita.....	170
5.4.2	Relação entre conteúdo de matéria seca (CMS) na colheita e qualidade na colheita e após armazenagem.....	171
5.4.3	Métodos de predição do risco de <i>bitter pit</i> em maçãs ‘Honeycrisp’	174
5.4.4	Relação entre o conteúdo de matéria seca (CMS) e ocorrência de <i>bitter pit</i>	183
5.5	CONCLUSÕES.....	187
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	188
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	190
	APÊNDICE	205

1 INTRODUÇÃO GERAL

Aproximadamente um milhão de toneladas de maçãs são produzidas anualmente no Brasil, sendo cerca de 60% de maçãs do Grupo ‘Gala’, 30% do Grupo ‘Fuji’ e 10% de outras cultivares (PETRI et al., 2011).

Em função do volume colhido, a maior parte da produção de maçãs é armazenada por médios (5 meses) a longos períodos (até 12 meses). A armazenagem é particularmente importante pois reduz a pressão de comercialização durante o período de safra (quando os preços são menores), evita a sazonalidade de oferta durante o ano e possibilita a contínua expansão da área de produção.

Apesar das vantagens da armazenagem dos frutos para a indústria da maçã, os riscos de perda de produção aumentam com o prolongamento do período de armazenagem podendo, dependendo da intensidade, reduzir ou eliminar as vantagens econômicas de comercialização na entressafra. Isto ocorre, pois, frutos inadequados para o consumo *in natura* agregam os custos decorrentes da armazenagem e processamento e possuem valor de comercialização inferior ao custo de produção.

Em estudo conduzido por quatro anos consecutivos (2007 a 2010) foi demonstrado que as perdas médias de maçãs, após sete meses de armazenagem sob atmosfera controlada, variam de 3,9% a 12% e de 7,0% a 8,4% em maçãs do Grupo ‘Gala’ e ‘Fuji’, respectivamente. No entanto, considerando o período de sete dias a 23 °C após armazenagem (simulação do período de prateleira durante a comercialização), as perdas médias foram de aproximadamente 20% em maçãs ‘Gala’ e 28% em maçãs ‘Fuji’ (ARGENTA, dados não publicados). De acordo com Valdebenito-Sanhueza (2006), dependendo do lote, as perdas de maçãs durante armazenagem podem atingir 40% da produção.

Visando a redução de perdas de produção, o setor produtivo tem demandado pelo desenvolvimento de técnicas que

permitam identificar antes da colheita a qualidade pós-colheita dos frutos, especialmente no sentido de segregar pomares em função do potencial de armazenagem.

O estágio de maturação na colheita é a estratégia mais utilizada atualmente para determinação do potencial de armazenagem de maçãs, sendo a firmeza de polpa e o índice de amido as principais medidas de maturação utilizadas pelos produtores. Porém, estas medidas não têm sido suficientes para detectar variações entre pomares, microrregiões e anos de produção quanto as taxas de deterioração da textura e susceptibilidade a diversos distúrbios fisiológicos.

A análise mineral é uma medida complementar aos índices de maturação para previsão do potencial de armazenagem, particularmente quanto a susceptibilidade a distúrbios relacionados a deficiência de cálcio, como o *bitter pit* (BURMEISTER; DILLEY, 1994; AMARANTE; ERNANI; STEFFENS, 2009) e a senescência (PERRING, 1986; WOLK et al., 1998). No entanto, além do alto custo, esta análise tem sido inadequada na indicação do risco de distúrbios fisiológicos (RETAMALES et al., 2000) e para discriminar diferenças entre pomares e/ou anos de produção quanto ao potencial de armazenagem e, por estas razões, não é frequentemente utilizada.

De acordo com Sharples e Jonhson (1987) e Ebert e Stuker (1989), as variações do potencial de armazenagem de maçãs entre anos de produção podem estar ligadas aos efeitos das condições climáticas sobre a estrutura, composição e maturação dos frutos. Brookfield et al. (1997) sugeriram a conservação de maçãs é maior em frutos com maior conteúdo de carboidratos. A determinação do conteúdo de matéria seca (CMS) é uma maneira prática para estimar o conteúdo de carboidratos dos frutos (McGLONE et al., 2003).

Relações altamente positivas entre o CMS na colheita com o conteúdo de sólidos solúveis (SS) na colheita e após armazenagem foram descritas em kiwi (VELEMIS;

VASILAKAKIS; MANOLAKIS, 1997; JORDAN et al., 2000; CRISOSTO et al., 2012), abacate (GAMBLE et al., 2010), manga (PADDA et al., 2011) e maçã (WÜNSCHE; LAKSO, 2000; MCGLONE et al., 2002; PALMER et al., 2010). Em maçã (McGLONE et al., 2003; PALMER; 2007; PALMER et al., 2010) e kiwi (PALMER, 2007) observou-se que a relação entre o CMS e o teor de SS é maior quando o teor de SS é determinado após armazenagem. Não é surpreendente que haja correlação positiva entre o CMS e o teor de SS, uma vez que cerca de 60 a 80% da composição da matéria seca é formada por carboidratos (SALO; KORHONEN, 1972; PALMER, 2007). Também é esperado aumento da relação entre o CMS na colheita com o teor de SS após armazenagem pois, cerca de 15 a 20% do conteúdo de matéria seca de maçãs na colheita é formado por amido, sendo convertido em SS durante a armazenagem em ambiente refrigerado (PALMER, 2007; PALMER et al., 2010).

Embora menos documentado, também foi reportado haver associação entre CMS e a firmeza de polpa. Palmer et al. (2010) separaram maçãs ‘Royal Gala’ e ‘Scifresh’ em três classes de CMS (132 g kg⁻¹, 143 g kg⁻¹ e 157 g kg⁻¹) e verificaram, após 6 e 12 semanas de armazenamento, maior firmeza de polpa, SS e AT em frutos pertencentes a classe mais alta de matéria seca, sendo, no entanto, a associação entre estas variáveis maior em ‘Scifresh’ do que em ‘Royal Gala’, o que indica que a relação pode ser dependente da cultivar. Semelhantemente, Saei et al. (2011) observaram menor firmeza na colheita e maior taxa de redução da firmeza de polpa durante o armazenamento em frutos que possuíam CMS inferior a 13%, indicando que o acúmulo de matéria seca pode ser crítico para a formação e manutenção de tecidos firmes.

Os efeitos positivos do alto CMS sobre a qualidade de frutos também se refletem na preferência dos consumidores. De acordo com Palmer et al., (2010), a aceitabilidade de maçãs pelos consumidores aumentou com o incremento do CMS dos frutos, passando de 69% (menor classe, 132 g kg⁻¹) para 83%

(maior classe, 157 g kg⁻¹). Observações semelhantes foram descritas para abacate ‘Hass’ (GAMBLE et al., 2010). A preferência dos consumidores por frutos com maior CMS, ou seja, frutos potencialmente mais firmes e com maior teor de SS, está de acordo com estudos de Harker et al. (2002; 2008) que indicam que a firmeza de polpa seguida pelo teor de SS são os atributos de qualidade que melhor se correlacionam com a preferência dos consumidores.

A possibilidade de uso do CMS como um indicador da qualidade pós-colheita dos frutos despertou o interesse de produtores em vários locais de produção, especialmente no uso do CMS como uma medida complementar ao estágio de maturação dos frutos na colheita para a segregação dos pomares/lotes, antes da armazenagem, por similaridade de qualidade.

Os objetivos do presente trabalho foram avaliar as relações entre o CMS e índices de maturação e qualidade durante a fase final de crescimento de maçãs e as relações entre o CMS na colheita e a qualidade dos frutos na colheita e após a armazenagem.

2 RELAÇÃO ENTRE CONTEÚDO DE MATÉRIA SECA, ÍNDICES DE MATURAÇÃO NA COLHEITA E QUALIDADE DE MAÇÃS ‘FUJI’ APÓS ARMAZENAGEM

2.1 RESUMO

Dois experimentos foram conduzidos com o objetivo de avaliar as relações entre o conteúdo de matéria seca (CMS) e índices de maturação dos frutos na planta, as relações do CMS com a qualidade após a armazenagem e as variações do CMS entre anos, locais, portaenxertos e clones de ‘Fuji’. Maçãs ‘Mishima’, ‘Fuji Select’ e ‘Fuji Suprema’ foram colhidas de plantas enxertadas sobre M-9 ou Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) em Caçador, São Joaquim e Vacaria. No experimento 1, os frutos foram colhidos durante 83 ± 6 dias antes da colheita comercial. Durante a colheita comercial, maçãs do experimento 2 foram colhidas em estágio de maturação ideal (2014) ou avançado (2014 e 2015) e armazenadas sob atmosfera do ar a $0,5$ °C ou atmosfera controlada a $0,7$ °C, respectivamente. A maturação dos frutos foi caracterizada pela redução da firmeza da polpa (FP) e aumento do índice de amido (IA) e o teor de sólidos solúveis (SS), mas as mudanças no CMS foram mínimas neste período. Na colheita, as variações no CMS foram maiores em 2014 (14,4 a 16,7%) do que em 2015 (15,3 a 15,9%). Dentro de cada ano e local, o CMS não variou entre os clones e o efeito de portaenxerto foi exclusivamente observado em 2014, em Caçador, sendo maior no MKM9. O CMS na colheita se correlacionou com a FP e com o SS em um dos dois anos estudados e não foi associado com a incidência de desordens. Os resultados evidenciam que o CMS não é um bom indicador do estágio de maturação de maçãs e o emprego como indicador da qualidade pós-colheita não é consistente entre anos de produção, tornando o seu uso limitado.

Palavras-chave: *Malus domestica*. Sólidos solúveis. Firmeza de polpa. Armazenagem.

2.2 INTRODUÇÃO

O setor produtivo tem demandado por técnicas capazes de prever a qualidade pós-colheita de maçãs, com o intuito de reduzir os riscos de perdas e aumentar a qualidade dos frutos ofertados nos mercados.

A qualidade de maçãs após a armazenagem está associada ao seu estágio de maturação no momento da colheita (ARGENTA et al., 1995; PLOTTO et al., 1995). Por isso, lotes de maçãs são normalmente identificados logo após a colheita segundo seu potencial de armazenagem com base nos índices de maturação.

Mesmo assim, frutos colhidos em estágio de maturação semelhante e armazenados sob as mesmas condições podem apresentar variações quanto a conservação da qualidade (JOHNSTON; HEWETT; HERTOOG, 2002), indicando que a determinação dos índices de maturação na colheita não é suficiente para detectar variações entre pomares, microrregiões e/ou safras, quanto às taxas de deterioração da textura e susceptibilidade a distúrbios fisiológicos.

A análise mineral dos frutos cerca de 30 dias antes da colheita é um procedimento complementar para indicar o risco de perdas por distúrbios fisiológicos em pós-colheita (RETAMALES et al., 2000). Esse método se baseia no papel positivo do cálcio (Ca) e antagônico do magnésio (Mg) e potássio (K) sobre a estrutura da parede celular e sobre a manutenção da integridade de membranas celulares (POOVAIAH, 1993; FREITAS et al., 2010). Alto teor de Ca se relaciona positivamente com a firmeza de polpa (POOVIACH, 1993; BANGERTH, 2008) e negativamente com a susceptibilidade ao desenvolvimento de podridões (CONWAY; SAMS, 1985) e distúrbios fisiológicos (POOVAIAH, 1993;

WOLK et al., 1998; FREITAS et al., 2010). A vantagem deste método está na possibilidade de obter os resultados previamente à colheita, o que permite a segregação dos pomares em função do equilíbrio nutricional. Todavia, o alto custo das análises, a baixa capacidade de predição de distúrbios fisiológicos (AMARANTE; ERNANI; STEFFENS, 2009) e a inconsistência de resultados entre safras (WOLK et al., 1998) limitam o uso desta técnica.

Estudos demonstraram que a qualidade pós-colheita de frutos pode ser identificada pela análise do conteúdo de matéria seca na colheita (CMS). Relação positiva entre o CMS na colheita com o teor de sólidos solúveis (SS) e a acidez titulável (AT) após armazenagem foi demonstrada em kiwi (VELEMIS; VASILAKAKIS; MANOLAKIS, 1997; JORDAN et al., 2000; CRISOSTO et al., 2012) e maçã (WÜNSCHE; LAKSO, 2000; MCGLONE et al., 2003; PALMER et al., 2010). Adicionalmente, a preferência dos consumidores por frutos com maior CMS foi observada para kiwi (CRISOSTO et al., 2011), abacate (GAMBLE et al., 2010) e maçã (PALMER et al., 2010). Embora menos documentado, também foi reportada associação positiva entre CMS na colheita com a firmeza de polpa de maçãs (PALMER et al., 2010; SAEI et al., 2011) e negativa com a incidência de podridões e distúrbios fisiológicos em abacate ‘Hass’ (PAK; DIXON; CUTTING, 2003). O reconhecimento de que o aumento do CMS pode ser acompanhado pelo incremento no teor de SS, AT e pela firmeza de polpa na colheita e após armazenagem (FAMIANI et al., 2012; PALMER et al., 2010), sugere que o CMS pode ser empregado como uma medida complementar a maturação na colheita para a determinação do potencial de armazenagem dos frutos.

Esse estudo foi desenvolvido com os objetivos de avaliar as relações entre o CMS e índices de maturação e qualidade durante a fase final de crescimento de maçãs clones de ‘Fuji’, as relações entre o CMS na colheita e a qualidade das maçãs após

a armazenagem, bem como analisar os efeitos de local, portaenxerto e clones de ‘Fuji’ quanto ao CMS.

2.3 MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram conduzidos em pomares implantados em 2007 nas estações experimentais da Epagri (Caçador-SC e São Joaquim-SC) e da Embrapa (Vacaria-RS), nos anos de 2014 e 2015.

Em cada um dos locais de produção, os tratamentos consistiram de três clones de maçã ‘Fuji’ (‘Fuji Suprema’, ‘Mishima’ e ‘Fuji Select’) e dois portaenxertos (M-9 e Marubakaido com interenxerto de 20 cm de M-9). As plantas foram conduzidas com auxílio de espaldeiras em sistema de líder central. Os espaçamentos de plantio foram 3,5 m x 1,0 m (2.857 plantas ha⁻¹) e 4,0 m x 1,4 m (1.785 plantas ha⁻¹) nos portaenxertos M-9 e Marubakaido com interenxerto de 20 cm de M-9, respectivamente.

Nos três locais estudados, as macieiras foram manejadas seguindo o mesmo programa de manejo recomendado para pomares comerciais, o que inclui práticas culturais (poda, raleio e etc.) e intervenção química para o controle de doenças e pragas.

2.3.1 Experimento 1: Relação entre o CMS e índices de maturação na planta

A evolução da maturação dos frutos foi monitorada em 2014, durante 83±6 dias, dependendo do local de produção, sendo a primeira análise realizada na primeira semana do ano. Em cada data de amostragem, foram colhidos aleatoriamente trinta frutos (10 frutos por bloco), sendo a colheita realizada na região mediana da planta (1,5 a 2,0 m de altura em relação ao solo).

2.3.2 Experimento 2: Relação entre CMS na colheita e qualidade dos frutos na colheita e após armazenagem

No experimento 2, para cada combinação de local (3) e portaenxerto (2), os três clones de ‘Fuji’ foram colhidos em um ou dois estádios de maturação, dependendo do ano de produção. Em 2014, os frutos foram colhidos em estádio de maturação ideal para longos períodos de armazenagem (firmeza de polpa entre 16 e 18 lb e índice de amido inferior a 5) e avançado (firmeza de polpa inferior a 16 lb e índice de amido superior a 5), ao passo que, em 2015, os frutos foram colhidos somente em estádio de maturação avançado (ARGENTA et al., 1995; PLOTTO et al., 1995), sendo, os termos Colheita 1 e Colheita 2 empregados para designar a colheita dos frutos em estádio de maturação ideal e avançado, respectivamente. Todos os frutos foram colhidos em um único dia, em cada local e data de colheita. As datas em que os frutos apresentaram a firmeza de polpa e IA na faixa desejada variou entre os locais. Por isso, os frutos produzidos em São Joaquim foram colhidos uma semana após os demais locais.

Em ambos os anos e datas de colheita, frutos livres de defeitos externos foram amostrados (100 frutos por bloco) para cada uma das combinações de local, portaenxerto e clone. Frutos de Vacaria não foram usados em 2015 por terem sido danificados por granizo. Uma amostra de 25 frutos foi analisada um dia após a colheita (qualidade inicial). Em 2014, três amostras de 25 frutos, correspondendo aos frutos colhidos em estádio de maturação ideal (Colheita 1), foram armazenadas em câmara experimental sob refrigeração ($0,5 \pm 0,5$ °C e UR de $88 \pm 4\%$) por 230 dias, e os frutos analisados após este período mais quatro dias de prateleira a $23 \pm 0,5$ °C. Três amostras de 25 frutos, colhidos em estádio de maturação avançado (Colheita 2), foram armazenadas em câmara comercial sob atmosfera controlada (AC; 1,5 kPa de O₂ + 2,0 kPa de CO₂ a $0,7 \pm 0,5$ °C e UR de $88 \pm 4\%$) por 245 dias em 2014 e 199 dias em 2015, sendo

todos os frutos analisados após estes períodos, mais sete dias a $23\pm 0,5$ °C. A armazenagem sob refrigeração para frutos da Colheita 1 e sob alta pressão parcial de CO₂ para frutos da colheita 2 foi empregada para induzir a manifestação dos distúrbios escaldadura superficial e dano de CO₂, respectivamente.

2.3.3 Análise da qualidade dos frutos

Na colheita, os frutos foram analisados quanto à massa fresca, firmeza de polpa, teor de sólidos solúveis (SS), índice de amido, conteúdo de matéria seca (CMS) e incidência de pingo-de-mel. Após armazenagem, os frutos foram analisados quanto à firmeza de polpa, SS, acidez titulável (AT) e incidência de distúrbios fisiológicos e podridões. Cada amostra de 25 frutos (3) dentro de cada bloco (3) foi considerada uma repetição, sendo as medidas realizadas em todos os frutos. Exceção ocorreu nas variáveis SS e AT, as quais foram determinadas pela combinação do suco proveniente de 10 frutos por bloco.

A massa fresca dos frutos foi determinada por meio de balança analítica.

A firmeza de polpa foi medida em um lado da superfície de cada fruto, onde previamente a epiderme foi removida, pela utilização de penetrômetro eletrônico, com ponteira de 11 mm (Guss, Africa do Sul).

Amostras de suco dos frutos foram coletadas pelo uso de espremedor centrífugo (Champion, Plastaket Mfg. EUA), e utilizadas para a determinação do teor de SS e AT. O teor de SS foi determinado utilizando-se um refratômetro digital com compensação automática da temperatura (Atago, Japão), enquanto a AT foi determinada pela titulação de 10 mL de suco com hidróxido de sódio (NaOH; 0,1 N) até pH 8,2, usando um titulador automático (Radiometer Analytical, França).

O CMS foi estimado em uma amostra de tecido da polpa e casca de cada fruto, coletada na região equatorial, na forma de

um disco (~11 mm de espessura) da secção transversa, sendo as sementes removidas. Em seguida, determinou-se a massa fresca e os discos foram colocadas em estufa a 65 °C por pelo menos 48 horas (PALMER et al., 2010). Posteriormente, determinou-se a massa seca. O CMS de cada amostra foi determinado pela relação entre a massa seca e a massa fresca, sendo os resultados expressos em percentual.

O índice de degradação do amido foi estimado visualmente por meio de uma escala de 1 (100% da superfície com amido) a 9 (0% da superfície com amido) depois de expor uma secção transversal equatorial de cada fruto a solução de I₂+KI.

A incidência de frutos com sintomas de podridões e distúrbios fisiológicos foi determinada visualmente, sendo a relação entre número de frutos com sintomas em relação ao número total de frutos expressa em percentagem.

2.3.4 Delineamento experimental e análise estatística

Em cada um dos locais (Caçador, São Joaquim e Vacaria), ambos os experimentos foram conduzidos em delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial 2x3, composto pela combinação de dois níveis do fator portaenxerto (M-9 e Marubakaido com filtro M-9) e três níveis do fator clones de ‘Fuji’ (‘Fuji suprema’, ‘Mishima’ e ‘Fuji select’), com três repetições.

No experimento 1, os dados foram submetidos a análise de regressão linear para determinar as tendências de mudanças dos atributos de maturação avaliados ao longo do tempo. Adicionalmente, os coeficientes de regressão linear (*b*) das equações ajustadas, dentro de cada local, para cada combinação de clone e portaenxerto (tratamentos), foram comparados entre si pelo teste de paralelismo de t, conforme descrito por Stell e Torrie (1960).

No Experimento 2, os tratamentos foram submetidos a análise de variância (ANOVA) para determinar a significância dos fatores principais e das interações. As relações entre o CMS na colheita com a qualidade dos frutos na colheita e após armazenagem foram determinadas por meio da análise de correlação de *Pearson*. Nesta análise, cada combinação de local, portaenxerto e clone foi considerada uma repetição.

2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

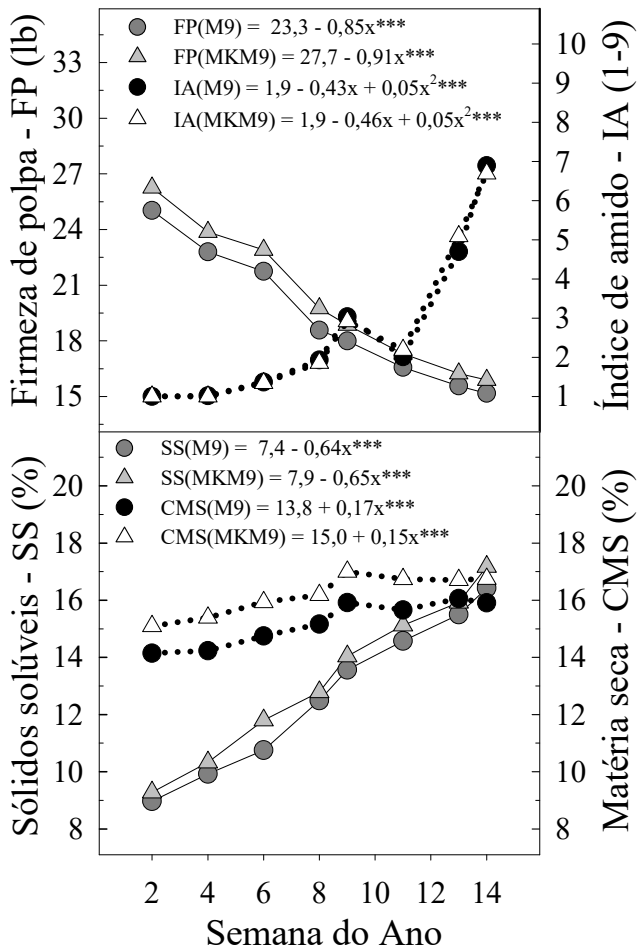
2.4.1 Relação entre o CMS e índices de maturação na planta

Variações entre clone e portaenxerto quanto aos atributos avaliados ao longo da maturação dos frutos foram observados dentro de cada local, porém, para as variáveis que apresentaram comportamento linear, o estudo do coeficiente angular das retas (teste de paralelismo de t) indicou que as variações entre clones não foram significativas (Apêndice A). Por este motivo, o fator clone foi agrupado, sendo apresentado somente o efeito de portaenxerto para cada um dos três locais estudados. Todavia, os modelos matemáticos para cada combinação dos fatores clone e portaenxerto, dentro de cada um dos locais, assim como as suas respectivas significâncias, são apresentados no Apêndice B.

A evolução da maturação dos frutos na planta foi caracterizada pela redução da firmeza de polpa em associação ao aumento do teor de sólidos solúveis (SS) e do índice de degradação do amido (IA), sendo a dinâmica de alterações destas variáveis similar nos três locais estudados, independentemente do portaenxerto (Figura 1, 2 e 3). Estes padrões de alterações já eram esperados por serem característicos de maçãs ‘Fuji’ e estão de acordo com resultados obtidos por Argenta et al. (1995), Plotto et al. (1995) e Bowen e Watkins (1997) em frutos produzidas no Brasil, Estados Unidos e Nova Zelândia, respectivamente.

Variações entre portaenxertos foram exclusivamente observadas em frutos produzidos em Caçador, sendo a firmeza de polpa e o CMS ligeiramente inferior em frutos provenientes de plantas enxertadas sobre M9 (Figura 1). Os efeitos de portaenxertos anões (M9, por exemplo) em relação a vigorosos (MK - Marubakaido, por exemplo) sobre a antecipação da maturação de maçãs são bem conhecidos (DRAKE et al., 1988; BARDEN; MARINI, 1992; FALLAHAI et al., 2002).

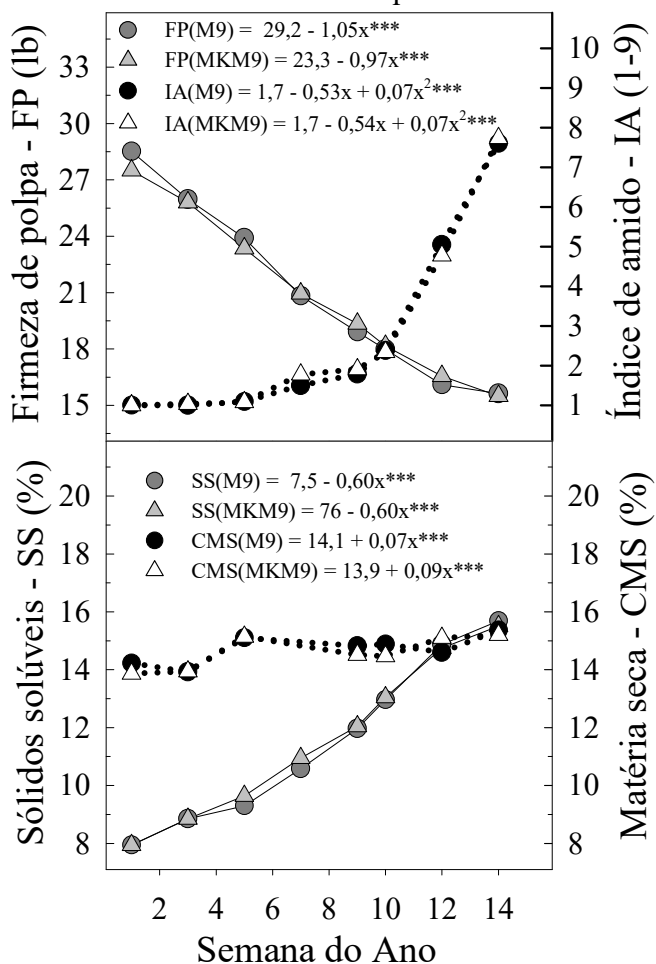
Figura 1 - Firmeza de polpa, teor de sólidos solúveis, índice de degradação do amido e conteúdo de matéria seca de maçãs clones de 'Fuji' durante a evolução da maturação na planta. As maçãs foram colhidas periodicamente de macieiras sobre portaenxertos Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) ou M-9 (M9) durante 83 dias em Caçador.



Fonte: produção do próprio autor, 2016.

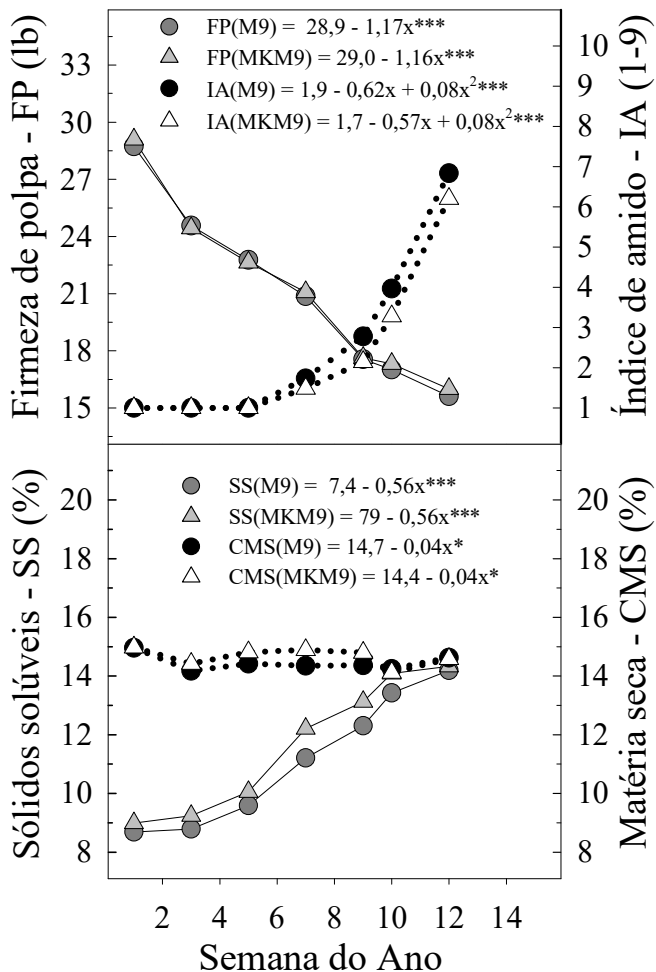
Efeito significativo a 0,1%(***)

Figura 2 - Firmeza de polpa, teor de sólidos solúveis, índice de degradação do amido e conteúdo de matéria seca de maçãs clones de 'Fuji' durante a evolução da maturação na planta. As maçãs foram colhidas periodicamente de macieiras sobre portaenxertos Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) ou M-9 (M9) durante 89 dias em São Joaquim.



Fonte: produção do próprio autor, 2016.
Efeito significativo a 0,1%(***)

Figura 3 - Firmeza de polpa, teor de sólidos solúveis, índice de degradação do amido e conteúdo de matéria seca de maçãs clones de 'Fuji' durante a evolução da maturação na planta. As maçãs foram colhidas periodicamente de macieiras sobre portaenxertos Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) ou M-9 (M9) durante 78 dias em Vacaria.



Fonte: produção do próprio autor, 2016.
Efeito significativo a 5% (*) e 0,1% (***)

Variações do CMS em função do portaenxerto também foram descritas em estudos anteriores. Maior assimilação de carbono em folhas de macieiras ‘Fuji’ no portaenxerto M-9, comparativamente ao M-7 e M-26, foram descritas por Fallahi et al. (2002), todavia, o efeito foi dependente do ano. Schechter, Proctor e Elfving (1993a) reportaram que o padrão de acúmulo de matéria seca em maçãs ‘Delicious’ e ‘McIntosh’ não foi afetado pelo portaenxerto (MM-106 e MM-111), no entanto, frutos que amadurecem primeiro apresentaram menor CMS. A ausência de efeito consistente de portaenxerto observada no presente estudo entre anos e/ou locais de produção pode estar associada ao controle do vigor do portaenxerto MK, exercido pelo interenxerto M9. Por outro lado, pequenas variações de portaenxertos, como as observadas em Caçador, podem estar atrelados a influência de fatores não controlados no presente estudo (início do período de floração e número de frutos por planta, por exemplo), que podem influenciar o tamanho e a maturação dos frutos e confundir os efeitos de portaenxertos (AUTIO, 1991).

Acréscimo significativo do CMS foram observados em frutos produzidos em Caçador (Figura 1) e São Joaquim (Figura 2), sendo a taxa de incremento duas vezes superior em Caçador ($\sim 0,16\%$ por semana). Por outro lado, tendência de redução do CMS ao longo do tempo foi verificada em frutos produzidos em Vacaria ($\sim 0,04\%$ por semana) (Figura 3). De acordo com Schechte, Proctor e Elfving (1993a; 1993b), o CMS varia expressivamente nos dois meses subsequentes ao período de plena floração (PF), havendo posteriormente, mudanças mínimas até a colheita dos frutos. Assim como observado em frutos produzidos em Caçador e São Joaquim, o aumento do CMS durante o desenvolvimento dos frutos foi reportado por Schechte, Proctor e Elfving (1993a) em maçãs ‘Empire’, ao passo que, a tendência de redução com o tempo, como aquela verificada em Vacaria, foi documentada para maçãs ‘Idared’ (SCHECHTE; PROCTOR; ELFVING, 1993b).

A menor variação do CMS durante a fase final de crescimento de maçãs (Figura 1, 2 e 3; SCHECHTE; PROCTOR; ELFVING, 1993b), comparativamente as consistentes e expressivas alterações da firmeza de polpa e do IA (Figura 1, 2 e 3; ARGENTA et al., 1995; PLOTTO et al., 1995; BOWEN; WATKINS, 1997) possui importância prática (PALMER et al., 2010). Ao contrário de algumas espécies, como o abacate (PAK; DIXON; CUTTING, 2003) e o kiwi (CRISOSTO et al., 2012), o CMS não é adequado para estimar o ponto de colheita de maçãs.

2.4.2 Variações do CMS na colheita entre clones, portaenxerto e locais de produção

Dentro de cada local e época de colheita, o CMS não foi afetado significativamente pelo fator clone e nem pela interação dos fatores clone e portaenxerto, independentemente de ano ou data de colheita. Por isso, os efeitos de clone, dentro de cada local e época de colheita, foram agrupados para o estudo das variações entre anos de produção e portaenxertos (Tabela 1).

Em 2014, o CMS foi maior em frutos produzidos em Caçador seguido por São Joaquim e Vacaria, independentemente da época de colheita. Já em 2015, o CMS de frutos produzidos em Caçador não diferiu de frutos produzidos em São Joaquim. Efeito significativo de portaenxerto foi exclusivamente observado em Caçador e somente ocorreu em frutos colhidos em 2014, sendo, nestes casos, o CMS significativamente maior no portaenxerto MKM9 (Tabela 1).

No presente estudo, a média do CMS dos clones ‘Mishima’, ‘Fuji Select’ e ‘Fuji Suprema’ variou de 14,1 a 16,7% (Tabela 1). Estas variações são similares aquelas obtidas por Bowen e Watkins (1997) em maçãs ‘Fuji’ produzidas na Nova Zelândia, ligeiramente superiores aquelas obtidas para maçãs ‘Royal Gala’ (13,0 a 15,6%) e inferiores a de maçãs ‘Scifresh’ (15,2 a 17,6%) (PALMER et al., 2010).

Dentro de uma mesma cultivar, variações do CMS entre locais e/ou ano de produção podem estar associados as variações climáticas e/ou de manejo das plantas. Em kiwi, foi demonstrado que a temperatura ambiente durante o desenvolvimento dos frutos afeta o CMS, sendo que a temperatura alta durante a primavera favorece o acúmulo de matéria seca, ao passo que, menor CMS nos frutos e maior crescimento vegetativo foram observados em verões quentes (SNELGAR et al., 2005). Em maçãs ‘Braeburn’, Wünsche et al. (2005) observaram variações de aproximadamente três pontos percentuais no CMS de frutos provenientes de plantas com baixo (400 frutos/planta) e alto (100 frutos/planta) raleio. Resultados semelhantes foram observados por Saei et al. (2011) em maçãs ‘Imperial Gala’/M9 raleadas ou não aos 30 dias após a plena floração, A ausência de efeito consistente de portaenxerto sobre o acúmulo de matéria seca entre anos e local de produção pode estar associadas ao controle do vigor do portaenxerto MK exercido pelo interenxerto M9, conforme previamente discutido.

2.4.3 Relação entre conteúdo de matéria seca na colheita com a qualidade dos frutos na colheita e após armazenagem

A relação do CMS com a firmeza de polpa na colheita variou entre anos e data de colheita, sendo significativa somente para frutos colhidos tardiamente em 2014 ($r = 0,34^*$) (Tabela 2, 3 e 4). Verificou-se correlação altamente significativa entre CMS na colheita com a firmeza da polpa após armazenagem em frutos colhidos em 2014, independentemente da época de colheita, mas não houve associação entre estas variáveis em 2015. Em 2014, a relação foi maior para frutos colhidos precocemente e armazenados sob refrigeração ($r = 0,65^{***}$), comparativamente àqueles colhidos tardiamente e armazenados sob atmosfera controlada (AC) ($r = 0,46^{***}$).

O CMS na colheita se correlacionou com a perda de firmeza durante a armazenagem (diferença entre a firmeza de

polpa na colheita e após armazenagem), sendo este efeito dependente do ano de produção (Figura 4A, B e C).

Tabela 1 - Variação na colheita do conteúdo de matéria seca (CMS; %) de maçãs clones de ‘Fuji’ (‘Míshima’, ‘Fuji Select’ e ‘Fuji Suprema’) em função do portaenxerto (Marubakaido com filtro M-9; MKM9 e M-9; M9) e local de produção (Caçador, São Joaquim e/ou Vacaria).

Portaenxerto	2014 Colheita 1	2014 Colheita 2	2015 Colheita 2
Caçador			
M9	15,6	15,9	15,6
MKM9	16,7	16,7	15,8
<i>Média</i>	<i>16,2</i>	<i>16,3</i>	<i>15,7</i>
<i>Desvio padrão</i>	<i>1,0</i>	<i>0,9</i>	<i>0,4</i>
<i>Fonte de variação</i>		<i>Significância</i>	
<i>Clone (C)</i>	<i>0,3036</i>	<i>0,4216</i>	<i>0,9045</i>
<i>Portaenxerto (E)</i>	<i>0,0316</i>	<i>0,0205</i>	<i>0,4244</i>
<i>C x E</i>	<i>0,6325</i>	<i>0,2522</i>	<i>0,2667</i>
<i>Bloco</i>	<i>0,8513</i>	<i>0,0659</i>	<i>0,5748</i>
São Joaquim			
M9	14,9	15,3	15,5
MKM9	14,4	15,2	15,7
<i>Média</i>	<i>14,6</i>	<i>15,3</i>	<i>15,6</i>
<i>Desvio padrão</i>	<i>0,7</i>	<i>0,7</i>	<i>0,5</i>
<i>Fonte de variação</i>		<i>Significância</i>	
<i>Clone (C)</i>	<i>0,4548</i>	<i>0,2144</i>	<i>0,2099</i>
<i>Portaenxerto (E)</i>	<i>0,2127</i>	<i>0,7756</i>	<i>0,5211</i>
<i>C x E</i>	<i>0,6880</i>	<i>0,7759</i>	<i>0,5482</i>
<i>Bloco</i>	<i>0,7262</i>	<i>0,3483</i>	<i>0,3967</i>
Vacaria			
M9	14,2	14,5	-
MKM9	14,1	14,6	-
<i>Média</i>	<i>14,1</i>	<i>14,5</i>	<i>-</i>
<i>Desvio padrão</i>	<i>0,8</i>	<i>0,9</i>	<i>-</i>
<i>Fonte de variação</i>		<i>Significância</i>	
<i>Clone (C)</i>	<i>0,9130</i>	<i>0,4569</i>	<i>-</i>
<i>Portaenxerto (E)</i>	<i>0,7229</i>	<i>0,7227</i>	<i>-</i>
<i>C x E</i>	<i>0,0648</i>	<i>0,1151</i>	<i>-</i>
<i>Bloco</i>	<i>0,1693</i>	<i>0,0534</i>	<i>-</i>

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Tabela 2 - Coeficientes de correlação de *Pearson* entre as variáveis conteúdo de matéria seca (CMS; %), firmeza de polpa (FP; lb), teor de sólidos solúveis (SS; %), índice de degradação do amido (IA, Tabela 1-9) e acidez titulável (AT; %) determinadas em maçãs clones de ‘Fuji’ (‘Mishima’, ‘Fuji Select’ e ‘Fuji Suprema’) na colheita (Col) e após 230 dias de armazenagem sob atmosfera do ar a 0,5°C mais quatro dias a 23 °C (Arm). Os frutos foram colhidos em 2014, em estágio ideal de maturação, em três locais de produção (Caçador, São Joaquim e Vacaria) e, em cada local, sob dois portaenxertos [Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) e M-9 (M9)]. (n = 54).

Variável	CMS (Col)	FP (Col)	SS (Col)	IA (Col)	FP (Arm)	SS (Arm)
FP(Col)	0,07 ^{ns}	-	-	-	-	-
SS(Col)	0,67 ^{***}	-0,20 ^{ns}	-	-	-	-
IA(Col)	-0,61 ^{***}	-0,13 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	-	-	-
FP(Arm)	0,65 ^{***}	0,40 [*]	0,29 [*]	-0,59 ^{***}	-	-
SS(Arm)	0,78 ^{***}	0,05 ^{ns}	0,76 ^{***}	-0,47 ^{***}	0,61 ^{***}	-
AT(Arm)	0,10 ^{ns}	0,26 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	-0,22 ^{ns}	0,32 [*]	0,10 ^{ns}

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Coeficiente de correlação não significativo (^{ns}) e significativo a 5(*), 1(**) e 0,1%(***).

A relação entre CMS e perda de firmeza de polpa foi maior quando os frutos foram colhidos precocemente em 2014 (Figura 4A) em relação a colheita tardia neste mesmo ano (Figura 4B) e não houve associação entre estas variáveis em frutos colhidos em 2015 (Figura 4C).

O amolecimento de maçãs tem sido associado com a perda da adesão celular. O tecido de frutos menos firmes (“mole”) apresenta maior separação celular e maior espaço intercelular do que o de frutos firmes e, por isso, seriam mais fracos (JOHNSTON; HEWETT; HERTOOG, 2002). Palmer et al. (2010) sugerem que frutos com maior CMS possuem maior

quantidade de material de parede celular e/ou menor potencial osmótico (maior turgor celular) e, por isso, tendem a ser mais firmes. Cerca de 11 a 17% da composição da matéria seca é formada por componentes estruturais tais como hemicelulose, pectinas e celulose (SALO; KORHONEN, 1972).

Tabela 3 - Coeficientes de correlação de *Pearson* entre as variáveis conteúdo de matéria seca (CMS; %), firmeza de polpa (FP; lb), teor de sólidos solúveis (SS; %), índice de degradação do amido (IA, Tabela 1-9), acidez titulável (AT; %) e pingo de mel (PM; %) determinadas em maçãs clones de ‘Fuji’ (‘Mishima’, ‘Fuji Select’ e ‘Fuji Suprema’) um dia após a colheita (Col) e após 245 dias de armazenagem sob atmosfera a 0,7 °C mais sete dias a 23 °C (Arm). Os frutos foram colhidos em 2014, em estágio avançado de maturação, em três locais de produção (Caçador, São Joaquim e Vacaria) e, em cada local, sob dois portaenxertos [Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) e M-9 (M9)]. (n = 54).

Variável	CMS (Col)	FP (Col)	SS (Col)	IA (Col)	PM (Col)	FP (Arm)	SS (Arm)
FP(Col)	0,34*	-	-	-	-	-	-
SS(Col)	0,87***	0,17 ^{ns}	-	-	-	-	-
IA(Col)	-0,10 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	0,15 ^{ns}	-	-	-	-
PM(Col)	0,01 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,55***	-	-	-
FP(Arm)	0,46***	0,45**	0,27 ^{ns}	-0,56***	-0,70***	-	-
SS(Arm)	0,71***	0,35*	0,81***	0,15 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,45**	-
AT(Arm)	0,54**	0,44**	0,42**	-0,33*	-0,38*	0,76***	0,54**

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Coefficiente de correlação não significativo (^{ns}) e significativo a 5(*), 1(**) e 0,1%(***).

Relação positiva entre o CMS com a firmeza de polpa após armazenagem, como àquelas observadas no presente estudo em 2014, foi descrita para maçãs ‘Royal Gala’ e

‘Scifresh’ (PALMER et al., 2010), maçãs ‘Imperial Gala’ (SAEI et al., 2011) e kiwi ‘Hayward’ (FAMIANI et al., 2012). De acordo com Palmer et al. (2010) a relação entre estas variáveis pode ser dependente da cultivar e do método de análise. Quando amostras de diferentes pomares foram associadas entre si, estes autores reportaram ausência de relação entre o CMS e a firmeza de polpa após armazenagem em maçãs ‘Royal Gala’ e associação positiva em maçãs ‘Scifresh’. Por outro lado, quando os frutos foram segregados em diferentes classes de matéria seca (132 g kg^{-1} ; 143 g kg^{-1} ; 157 g kg^{-1}), a firmeza de polpa foi maior em frutos pertencentes a classe mais alta, sendo este resultado observado para ambas as cultivares. De acordo com Saei et al. (2011), a taxa de perda de firmeza de polpa de maçãs ‘Imperial Gala’ é menor em frutos com maior CMS (SAEI et al. 2011).

Tabela 4 - Coeficientes de correlação de *Pearson* entre as variáveis conteúdo de matéria seca (CMS; %), firmeza de polpa (FP; lb), teor de sólidos solúveis (SS; %), índice de degradação do amido (IA, Tabela 1-9), acidez titulável (AT; %) e pingo de mel (PM; %) determinadas em maçãs clones de ‘Fuji’ (‘Mishima’, ‘Fuji Select’ e ‘Fuji Suprema’) um dia após a colheita (Col) e após 199 dias de armazenagem sob atmosfera a 0,7 °C mais sete dias a 23 °C (Arm). Os frutos foram colhidos em 2015, em estágio avançado de maturação, em dois locais de produção (Caçador e São Joaquim) e, em cada local, sob dois portaenxertos [Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) e M-9 (M9)]. (n = 36).

Variável	CMS (Col)	FP (Col)	SS (Col)	IA (Col)	PM (Col)	SS (Arm)	SS (Arm)
FP(Col)	0,02 ^{ns}	-	-	-	-	-	-
SS(Col)	0,06 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	-	-	-	-	-
IA(Col)	0,08 ^{ns}	-0,26 ^{ns}	0,59 ^{***}	-	-	-	-
PM(Col)	0,01 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,58 ^{***}	0,64 ^{***}	-	-	-
FP(Arm)	0,13 ^{ns}	0,41 [*]	-0,26 ^{ns}	-0,42 [*]	-0,41 ^{***}	-	-
SS(Arm)	0,28 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,41 [*]	0,51 ^{**}	-0,70 ^{***}	0,13 ^{ns}	-
AT(Arm)	0,15 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,49 ^{**}	0,27 ^{ns}	0,65 ^{***}	-0,05 ^{ns}	0,56 ^{**}

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Coeficiente de correlação não significativo (^{ns}) e significativo a 5(^{*}), 1(^{**}) e 0,1%(^{***}).

O menor índice de correlação entre o CMS e a firmeza de polpa quando os frutos foram colhidos tardiamente em 2014 e armazenados sob AC, se comparada com aquele de frutos colhidos no estágio de maturação ideal e armazenados em refrigeração, pode ser atrelada, pelo menos em parte, pela menor conservação da firmeza de polpa de frutos produzidos em São Joaquim, conforme evidenciado pela maior taxa de perda de firmeza de polpa dos frutos produzidos neste local (Figura 4B). Já a ausência de relação significativa quando os frutos colhidos tardiamente em 2015 e armazenados sob AC pode ser associada

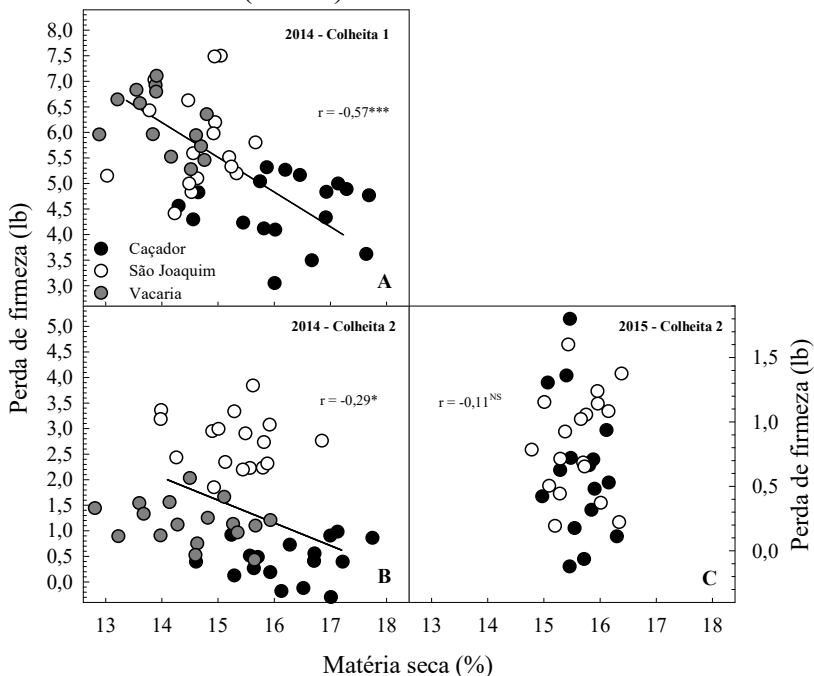
a menor variação do CMS entre os pomares (15,3 a 15,9%) (Figura 4C), se comparada com as expressivas variações obtidas em 2014 em frutos colhidos precocemente (13,4 a 17,2%) ou tardiamente (14,1 a 17,2%) (Figura 4A e 4B).

Assim como observado para o CMS, a firmeza de polpa, determinada na colheita, também foi associada com a firmeza de polpa após armazenagem (Tabela 2, 3 e 4). Ao contrário do CMS, a relação entre firmeza de polpa na colheita e após armazenagem foi significativa para todas as combinações de ano e período de colheita, com variação de 40 a 45%, sendo estes resultados coincidentes com àqueles obtidos em estudos anteriores, os quais indicam que a firmeza de polpa de maçãs após armazenagem é dependente da firmeza de polpa na colheita (JOHNSTON; HEWETT; HERTOG, 2002; PALMER et al., 2010; SAEI et al., 2011). Estes resultados sugerem que ao longo de diferentes anos de produção, a firmeza de polpa na colheita é o atributo mais adequada para indicar a firmeza de polpa após armazenagem.

De maneira geral, o CMS se correlacionou positivamente com o teor de SS na colheita e após armazenagem (Tabela 2, 3 e 4), sendo estes resultados coincidentes com àqueles obtidos em estudos anteriores para maçãs (WÜNSCHE; LAKSO, 2000; McGLONE et al., 2003; PALMER et al., 2010), kiwi (VELEMIS; VASILAKAKIS; MANOLAKIS, 1997; JORDAN et al., 2000; CRISOSTO et al., 2012), abacate (GAMBLE et al., 2010) e manga (PADDA et al., 2011).

Todavia, o índice de correlação, assim como o nível de significância, foi dependente do ano e/ou época de análise (na colheita ou após armazenagem). Em 2014, o atraso da colheita aumentou a relação entre CMS e teor de SS, passando de 67 (Tabela 2) para 87% (Tabela 3), sendo este efeito relacionado, pelo menos em parte, ao aumento do teor de SS a partir da hidrólise do amido (McGLONE et al., 2003).

Figura 4 - Coeficiente de correlação de *Pearson* entre o CMS na colheita com a perda de firmeza de polpa⁽¹⁾ em maçãs clones de ‘Fuji’ (‘Mishima’, ‘Fuji Select’ e ‘Fuji Suprema’). Os frutos foram colhidos em Caçador, São Joaquim e Vacaria e, em cada local, sobre dois portaenxertos [Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) e M-9 (M9)], em 2014 (n = 54) e 2015 (n = 36).



Fonte: produção do próprio autor, 2016.

⁽¹⁾Perda de firmeza de polpa: Diferença entre a firmeza de polpa na colheita e após armazenagem.

Coeficiente de correlação não significativo (^{NS}) e significativo a 5(^{*}) e 0,1%(^{***}).

Em frutos colhidos precocemente em 2014 (colheita 1), a associação entre CMS e o teor de SS aumentou de 67 (na colheita) para 78% quando o teor de SS foi analisado após

armazenagem (Tabela 2). Em maçãs ‘Royal Gala’, Palmer et al. (2010) observaram relação significativa entre o CMS com o teor de SS na colheita ($r = 0,32$) e aumento da relação após seis ($r = 0,53$) e doze ($r = 0,82$) semanas de armazenagem. McGlone et al. (2003) analisaram ambos, CMS e o teor de SS, na colheita e após armazenagem, e também verificaram que a relação entre estas variáveis é mais forte quando determinadas após armazenagem. Além da hidrólise do amido durante a armazenagem, estes autores também sugeriram que o aumento da relação em pós-colheita pode estar relacionado com a perda de água por transpiração, a qual pode concentrar o CMS e o teor de SS.

Considerando que, no momento da colheita, cerca de 15 a 20% do conteúdo de matéria seca de maçãs é formado por amido (PALMER, 2007) e que, durante a armazenagem, o amido é convertido em açúcares, era esperado que a relação entre estas variáveis fosse mais forte com a determinação do teor de SS após armazenagem. Contudo, em frutos colhidos tardiamente em 2014 (colheita 2), a associação entre CMS e teor de SS foi menor quando o teor de SS foi determinado após armazenagem (Tabela 3), ao passo que, em 2015, não foi verificado relação significativa entre o CMS e o teor de SS, independentemente do período de análise (Tabela 4). Durante a fase final de desenvolvimento dos frutos a concentração de amido nos frutos decresce progressivamente (BOWEN; WATKINS, 1997). Embora o teor de SS aumente com o atraso da colheita (Figura 1, 2 e 3), a contribuição do amido para o aumento do teor de SS durante a armazenagem pode ser reduzida quando os frutos são colhidos tardiamente. Por outro lado, a relação entre as variáveis na colheita pode ser influenciada pela presença de pingo de mel, o qual é caracterizado pelo acúmulo de açúcares nos espaços intercelulares do tecido do fruto devido a uma disfunção no transporte de sorbitol para dentro da célula (FERGUNSON; VOLZ; WOOLF, 1999). Já a ausência de significância entre o CMS e o teor de SS verificada em frutos

colhidos em estágio de maturação avançada, em 2015, podem estar associadas a baixa variação do CMS entre pomares na colheita, comparativamente aquela verificada em anos anteriores, conforme previamente descrito para firmeza de polpa.

Considerando que apenas uma pequena parte do CMS na colheita é composta por amido (PALMER, 2007) e que a concentração de amido reduz com o atraso da maturação (BOWEN; WATKINS, 1997), observou-se que, assim como o CMS, grande parte da variação do teor de SS após armazenagem também pode ser explicada pelo teor de SS na colheita. O grau de associação variou com o ano, sendo maior em 2014, tanto para frutos colhidos precocemente ($r = 0,76^{***}$) quanto tardiamente ($r = 0,81^{***}$) e menor em 2015 ($r = 0,41^*$) (Tabela 2, 3 e 4). Estes resultados indicam que a determinação do CMS com o objetivo de indicar o teor de SS após armazenagem é uma medida redundante do teor de SS na colheita, sugerindo que ambos, CMS e teor de SS na colheita, podem ser empregados como indicadores do teor de SS após armazenagem. Estes resultados divergem daqueles obtidos para outras espécies, como o kiwi. Isto ocorre porque o contraste entre o teor de SS na colheita e após armazenagem são menores em maçãs do que em kiwi e, de acordo com Palmer (2007), na colheita, o conteúdo de amido representa 50% do CMS em kiwi e menos de 20% em maçãs. Por isso, o aumento do teor de SS durante a armazenagem, a partir da degradação do amido, representa mais para kiwi do que para maçãs, o que torna o CMS um excelente indicador da qualidade pós-colheita de kiwi.

A relação entre CMS na colheita com a AT após armazenagem foi de 10 e 54% em frutos colhidos precocemente (colheita 1) e tardiamente (colheita 2), respectivamente, em 2014, sendo significativa apenas para frutos da colheita 2. Em 2015, não houve relação significativa entre o CMS e AT (Tabela 2, 3 e 4). A associação entre CMS na colheita com a AT após armazenagem foi previamente descrita para maçãs (PALMER et

al., 2010) e kiwi (FAMIANI et al., 2012). A ausência de significância entre estas variáveis em 2015 pode estar associada a baixa variação do CMS entre pomares na colheita, comparativamente aquela verificada em anos anteriores, conforme previamente descrito para outras variáveis.

A incidência de podridões desenvolvidas na armazenagem não foi consistentemente associada com o CMS na colheita (Tabela 5). Em 2014, a relação foi negativa para frutos colhidos precocemente e armazenados em refrigeração e positiva para frutos colhidos tardiamente e armazenados sob AC. A associação entre o CMS com a incidência de podridão não tem sido documentada para maçãs, embora, redução da incidência de podridões em frutos com maior CMS foi observada em abacate ‘Hass’ (PAK; DIXON; CUTTING, 2003). Da mesma forma, a relação entre a incidência pós-colheita de podridão com firmeza de polpa, IA e teor de SS, determinados na colheita, também foi contraditória entre datas de colheita. Quando os frutos foram analisados em 2015, apenas o distúrbio pingo-de-mel foi significativamente associado com a incidência de podridão, sendo a relação entre estas variáveis negativa.

Embora estudos têm demonstrado que os riscos de perdas pós-colheita por podridões aumentam quando os frutos são colhidos tardiamente e/ou com a redução da firmeza de polpa durante a armazenagem (SPOTTS; CERVANTES; MIELKE, 1999; VALDEBENITO-SANHUENZA et al., 2006; AHMADI-AFZADI; TAHIR; NYBOM, 2013), os efeitos inconsistentes observados no presente estudo entre os atributos de maturação/qualidade na colheita com a ocorrência de podridões sugerem que outros fatores, como variações climáticas entre anos e/ou o manejo fitossanitário dos pomares, se sobrepõe ao estágio de maturação dos frutos na colheita.

O distúrbio fisiológico escaldadura superficial foi observado apenas em 2014 em frutos colhidos precocemente e armazenados em refrigeração (dados não apresentados),

impossibilitando dessa forma as análises de correlação para frutos colhidos tardiamente em 2014 e 2015 (Tabela 5). O CMS e o teor de SS não foram correlacionados com a incidência de escaldadura superficial após armazenagem, ao passo que, a firmeza de polpa e o IA foram positivamente associados com o dano. Embora a susceptibilidade dos frutos ao dano é associada com a colheita precoce (LURIE; WATKINS, 2012), a indicação de que frutos mais firmes (menos maduros) e com maior IA (mais maduros) são menos susceptíveis ao distúrbio é contraditória, o que reforça a necessidade da análise conjunta dos atributos de maturação para estimar o estágio de maturação dos frutos na colheita (PLOTTO et al., 1995).

O distúrbio dano por CO₂, caracterizado pelo desenvolvimento de manchas difusas de coloração marrom e/ou pela presença de cavidades na polpa dos frutos, foi observado em ambos os anos em frutos colhidos tardiamente e armazenados sob atmosfera controlada (dados não apresentados), impossibilitando a análise de correlação para frutos colhidos precocemente (Tabela 5), sendo estes resultados coerentes com àqueles obtidos em estudos anteriores (FERGUNSON; VOLZ; WOOLF, 1999; ARGENTA; FAN; MATTHEIS, 2002). O CMS na colheita foi significativamente relacionado com a incidência de dano por CO₂ em um dos dois anos de estudo, todavia, a relação foi fraca. Não houve associação entre firmeza de polpa e incidência do distúrbio. Por outro lado, os demais atributos associados ao estágio de maturação dos frutos na colheita (IA, teor de SS e pingo-de-mel) foram consistentemente associados com o desenvolvimento do distúrbio. A alta relação do distúrbio com a presença de pingo-de-mel observada no presente estudo, sobretudo em frutos colhidos em 2015, é associada a redução da permeância dos gases, devido ao preenchimento dos espaços intercelulares com sorbitol, resultando no acúmulo de CO₂ tóxico na polpa dos frutos (ARGENTA; FAN; MATTHEIS, 2002).

Tabela 5 – Coeficiente de correlação de *Pearson* entre o conteúdo de matéria seca na colheita (CMS; %) com a incidência de podridões (%), escaldadura superficial (%) e dano por CO₂ (%) determinados em maçãs clones de ‘Fuji’ (‘Mishima’, ‘Fuji Select’ e ‘Fuji Suprema’) após 230 dias de armazenagem sob refrigeração (2014 – colheita 1; n = 54) e 245 (2014 – colheita 2; n = 54) ou 199 (2015 – colheita 2; n = 36) dias sob atmosfera controlada. Os frutos foram colhidos em Caçador, São Joaquim e Vacaria e, em cada local, sobre dois portaenxertos [Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) e M-9 (M9)].

Variável	Podridões (%)	Escaldadura superficial (%)	Dano por CO ₂ (%)
2014 - Colheita 1⁽¹⁾			
CMS (%)	-0,39**	0,09 ^{ns}	-
Firmeza de polpa (lb)	0,22 ^{ns}	0,31*	-
Teor de SS (%)	-0,25 ^{ns}	-0,28*	-
IA (1-9)	-0,28*	0,37**	-
Pingo de mel (1-2)	-	-	-
2014 - Colheita 2			
CMS (%)	0,50**	-	0,28*
Firmeza de polpa (lb)	-0,10 ^{ns}	-	-0,18 ^{ns}
Teor de SS (%)	0,71***	-	0,47**
IA (1-9)	0,33*	-	0,37**
Pingo de mel (%)	0,25 ^{ns}	-	0,29*
2015 – Colheita 2			
CMS (%)	0,10 ^{ns}	-	-0,09 ^{ns}
Firmeza de polpa (lb)	-0,07 ^{ns}	-	-0,17 ^{ns}
Teor de SS (%)	-0,23 ^{ns}	-	0,65***
IA (1-9)	-0,11 ^{ns}	-	0,65***
Pingo de mel (%)	-0,49**	-	0,79***

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

⁽¹⁾Colheita: 1. Estádio de maturação ideal para longos períodos de armazenagem; 2. Estádio de maturação avançado para longos períodos de armazenagem.

Efeito não significativo (^{ns}) ou significativo a 5(*), 1(**) e 0,1% (***)

2.5 CONCLUSÕES

Os resultados do presente estudo indicam que o CMS varia pouco nas semanas que antecedem a colheita e que há relação entre o CMS na colheita com os atributos de qualidade (Firmeza de polpa, teor de sólidos solúveis e acidez titulável) após armazenagem. Estas observações indicam que o CMS não é adequado para estimar o ponto de colheita de maçãs ‘Fuji’, porém, sugerem que o CMS pode ser analisado previamente à colheita e utilizado como ferramenta adicional ao estágio de maturação na colheita para agrupar lotes de maçãs com similaridade de potencial de armazenagem, reduzindo desta maneira as misturas de lotes dentro de uma mesma câmara fria e, conseqüentemente, os riscos de perdas pós-colheita. Porém, a associação do CMS com os atributos de qualidade após armazenagem não é significativa para todos os anos, tornando-o um indicador pouco confiável para previsão do potencial de armazenagem.

3 RELAÇÃO ENTRE CONTEÚDO DE MATÉRIA SECA, ÍNDICES DE MATURAÇÃO NA COLHEITA E QUALIDADE DE MAÇÃS ‘GALA’ APÓS ARMAZENAGEM

3.1 RESUMO

Três experimentos foram conduzidos para avaliar as relações entre o conteúdo de matéria seca (CMS) e índices de maturação na planta, as relações do CMS com a qualidade pós-colheita dos frutos e identificar quais atributos de maturação/qualidade melhor se correlacionam com distúrbios associados a senescência. No experimento 1, a maturação de maçãs clones de ‘Gala’ foi monitorada durante sete semanas em 2014. Os frutos foram colhidos em plantas enxertadas sobre M-9 ou Marubakaido com filtro M-9 e produzidas em Caçador, São Joaquim e Vacaria. No experimento 2, os frutos foram armazenados por 195 (2014) ou 295 (2015) dias sob atmosfera controlada (1,5 kPa O₂; 3,0 kPa CO₂) e analisados após este período mais sete dias a 23 °C. No experimento 3, maçãs ‘Gala’ colhidas em 2015 em Wenatchee e Vantage foram analisados na colheita e após 50, 105 e 200 dias a 1 °C mais sete dias a 23 °C. No experimento 1, a maturação dos frutos foi caracterizada pela redução da firmeza da polpa e aumento do índice de amido e sólidos solúveis (SS), mas as mudanças no CMS foram mínimas nesse período. No experimento 2, o CMS se correlacionou com a firmeza de polpa e teor de SS na colheita e com a acidez titulável e teor de SS após armazenagem. A relação do CMS com a incidência de distúrbio fisiológico foi inferior a 20% e contraditória entre os diferentes anos (positiva em 2014 e negativa em 2015). No experimento 3, o CMS decresceu linearmente durante a armazenagem coincidindo com a redução da firmeza de polpa e da acidez titulável (AT). Incidência significativa de escurecimento de polpa foi observada somente após 200 dias de armazenagem e a firmeza de polpa

(penetrômetro), AT e densidade foram as variáveis que melhor se correlacionaram com o distúrbio. A incidência de rachadura senescente ocorreu apenas em um dos dois pomares e foi melhor correlacionada com a firmeza de polpa acústica e com a densidade. Os resultados do presente estudo indicam que o CMS não é um bom indicador do estágio de maturação de maçãs ‘Gala’ na planta e nem da firmeza de polpa após armazenagem, mas pode ser utilizado como indicador do teor de SS e da AT após armazenagem. A redução da firmeza de polpa, da AT e da densidade durante a armazenagem são relacionadas com o aumento da incidência de distúrbios relacionados com a senescência.

Palavras-chave: *Malus domestica*. Sólidos solúveis. Firmeza de polpa acústica. Escurecimento de polpa.

3.2 INTRODUÇÃO

A rápida perda da firmeza de polpa de maçãs ‘Gala’ e a susceptibilidade dos frutos ao desenvolvimento do distúrbio fisiológico escurecimento de polpa (ARGENTA; MONDARDO, 1994; LEE; MATTHEIS; RUDELL, 2013) são duas das principais preocupações durante as operações comerciais de armazenagem e comercialização dos frutos. Apesar do risco de perdas de produção por este distúrbio variar com o ano, a susceptibilidade dos frutos aumenta com o atraso da colheita e com o aumento da duração da armazenagem (ARGENTA; MONDARDO, 1994; PLOTTO et al., 1995; LEE; MATTHEIS; RUDELL, 2013).

O monitoramento da maturação dos frutos no período de pré-colheita é a estratégia mais utilizada por produtores para a colheita dos frutos no estágio de maturação ideal (ARGENTA; VIEIRA; SCOLARO, 2010). Medidas da firmeza de polpa e do índice de amido na colheita são os índices de maturação mais empregados comercialmente para estimar o potencial de

armazenagem, embora não sejam suficientes para detectar variações entre pomares, microrregiões e anos quanto as taxas de deterioração da textura e susceptibilidade a distúrbios fisiológicos (ARGENTA; MONDARDO, 1994; PLOTTO et al., 1995). Previsões incorretas do potencial de armazenagem alteram programações de escalonamento da comercialização ao longo do ano e aumentam os riscos de perdas pós-colheita e/ou a expedição para o mercado de frutos com qualidade sensorial inferior a expectativa dos consumidores (HARKER; GUNSON; JAEGER, 2003).

A análise mineral da polpa dos frutos é um procedimento complementar a análise do estágio de maturação na colheita para predizer o risco de perdas por distúrbios fisiológicos em pós-colheita (RETAMALES et al., 2000; AMARANTE; STEFFENS; ERNANI, 2010) e, conseqüentemente, indicar o potencial de armazenagem. A utilização desse método se baseia no papel positivo do cálcio e antagonico do magnésio e potássio sobre a estrutura da parede celular e sobre a manutenção da integridade de membranas celulares (POOVAIAH, 1993; FREITAS et al., 2010). Alto teor de cálcio se relaciona positivamente com a firmeza de polpa (POOVIACH, 1993; SAMS, 1999; BANGERTH, 2008) e negativamente com a susceptibilidade ao desenvolvimento de distúrbios fisiológicos (POOVAIAH, 1993; WOLK et al., 1998; FREITAS et al., 2010), incluindo aqueles associados com a senescência (PERRING; PEARSON; MARTIN, 1985; SAKS; SONEGO; BEN-ARIE, 1990). Apesar do método permitir a identificação e segregação de pomares com desequilíbrio nutricional para a comercialização a curto prazo, o alto custo das análises e a baixa capacidade de predição de distúrbios fisiológicos tem limitado a sua utilização (AMARANTE; ERNANI; STEFFENS, 2009).

A qualidade e o potencial de armazenagem de maçãs podem variar significativamente com o pomar (local de produção, práticas culturais, portaenxerto, etc.) (WÜNSCHE; LAKSO, 2000) e ano (WOLK et al., 1998). Wünsche e Lakso

(2000) e Palmer (2007) destacam que a qualidade de maçãs depende da proporção de luz interceptada pela planta, fonte de energia para síntese de carboidratos, e da quantidade de carboidratos transportado para os frutos. Brookfield et al. (2007) sugerem que frutos com baixo conteúdo de carboidratos apresentam menor capacidade de conservação da firmeza de polpa durante armazenagem. A determinação do conteúdo de matéria seca é uma maneira prática para estimar o teor de carboidratos nos frutos (McGLONE et al., 2003).

Relação positiva entre o conteúdo de matéria seca (CMS) na colheita com o teor de sólidos solúveis (SS) após armazenagem foram demonstradas em kiwi (VELEMIS; VASILAKAKIS; MANOLAKIS, 1997; JORDAN et al., 2000; CRISOSTO et al., 2012), abacate (GAMBLE et al., 2010), manga (PADDA et al., 2011) e maçã (WÜNSCHE; LAKSO, 2000; McGLONE et al., 2003; PALMER et al., 2010). O CMS também foi relacionado com a acidez titulável e, dependendo da cultivar, com a firmeza de polpa de maçãs (PALMER et al., 2010; SAEI et al., 2011). O reconhecimento de que o aumento do CMS é acompanhado pelo incremento no teor de SS, AT e pela manutenção da firmeza de polpa, sugere que além de indicar a qualidade sensorial dos frutos após armazenagem (FAMIANI et al., 2012; PALMER et al., 2010), o CMS pode ser empregado como medida complementar ao estágio de maturação dos frutos na colheita para a determinação do potencial de armazenagem. Entretanto, as relações entre variações de CMS entre pomares e a incidência pós-colheita de distúrbios fisiológicos e podridões em maçãs não têm sido documentadas.

Esse estudo foi desenvolvido com os objetivos de avaliar as relações entre o CMS e índices de maturação ao longo do período de maturação de maçãs clones de ‘Gala’ na planta, as relações entre o CMS na colheita e a qualidade dos frutos na colheita e após a armazenagem, a dinâmica de mudanças do CMS e dos atributos de qualidade durante armazenagem e identificar o atributo de maturação ou qualidade na colheita e

após armazenagem que melhor se correlaciona com a incidência de distúrbios fisiológicos associados a senescência.

3.3 MATERIAL E MÉTODOS

Três experimentos foram conduzidos com maçãs clone de ‘Gala’.

Nos experimentos 1 e 2, os frutos foram obtidos em pomares localizados nas estações experimentais da Epagri (Caçador/SC e São Joaquim/SC) e da Embrapa (Vacaria/RS) nos anos de 2014 e 2015. Em cada local, os tratamentos foram constituídos por seis clones de maçã ‘Gala’ (‘Galaxy’, ‘Maxi Gala’, ‘Imperial Gala’, ‘Royal Gala’, ‘Baigent’ e ‘Real Gala’) e dois portaenxerto (M-9 e Marubakaido com interenxerto de 20 cm de M-9). As plantas foram conduzidas com auxílio de espaldeiras em sistema de líder central. Os espaçamentos de plantio foram 3,5 m x 1,0 m (2.857 plantas ha⁻¹) e 4,0 m x 1,4 m (1.785 plantas ha⁻¹) nos portaenxertos M-9 e Marubakaido com interenxerto de 20 cm de M-9, respectivamente.

No experimento 3, maçãs ‘Gala’ foram colhidas em dois pomares comerciais localizados próximos a Vantage/WA (pomar 1) e Wenatchee/WA (pomar 2) em 2015.

3.3.1 Experimento 1: Relação entre CMS e índices de maturação na planta

A evolução da maturação de maçãs ‘Galaxy’, ‘Imperial Gala’, ‘Maxi Gala’ e ‘Royal Gala’ foi monitorada semanalmente durante 6 ou 7 semanas, dependendo do local, em 2014, sendo a primeira amostragem realizada na segunda semana do ano. Em cada data de amostragem, foram colhidos aleatoriamente trinta frutos (10 frutos por bloco), sendo a colheita realizada na região mediana da planta (1,5 a 2,0 m de altura em relação ao solo). Após a colheita, os frutos foram analisados quanto a firmeza de

polpa, teor de sólidos solúveis (SS), índice de amido (IA) e conteúdo de matéria seca (CMS).

3.3.2 Experimento 2: Relação entre CMS na colheita e qualidade dos frutos na colheita e após armazenagem

Para cada combinação de local (3) e portaenxerto (2), foram colhidas maçãs dos clones ‘Galaxy’, ‘Imperial Gala’, ‘Maxi Gala’ e ‘Royal Gala’ em 2014 e em 2015, também foram amostrados os clones ‘Baigent’ e ‘Real Gala’. Após a colheita, frutos livres de defeitos externos foram selecionados e aleatoriamente distribuídos em cinco amostras, sendo cada amostra composta por 25 frutos. Uma amostra foi analisada no dia seguinte a colheita (qualidade inicial). As demais amostras foram acondicionadas em caixas de papelão e, então, armazenadas em câmaras comerciais de maçãs ‘Gala’ sob atmosfera controlada (AC; 1,5 kPa O₂; 3,0 kPa CO₂; 0,7±0,5 °C; UR 90±5 %) por 195±7 (2014) ou 295±7 (2015) dias e analisados após este período mais sete dias de prateleira a 23 °C. Na colheita, os frutos foram analisados quanto firmeza de polpa, teor de SS, AT, IA e CMS, enquanto que, após armazenagem, os frutos foram analisados quanto a firmeza de polpa, teor de SS, AT e incidência de distúrbios fisiológicos e podridões.

3.3.3 Experimento 3: Relação entre CMS na colheita e qualidade após armazenagem para diferentes tempos de armazenagem

Maçãs ‘Imperial Gala’ foram colhidas em dois pomares comerciais localizados próximos a Vantage/WA (pomar 1) e Wenatchee/WA (pomar 2) em 2015. Após a colheita, para cada um dos pomares, frutos livres de defeitos externos foram aleatoriamente distribuídos em 8 amostras de 18 frutos. Duas amostras foram analisadas na colheita (qualidade inicial) e as demais envolvidas por uma bolsa plástica de polietileno de baixa

densidade (PLDB; 10 μm) e acondicionadas em caixas de papelão com capacidade para 18 kg e, então, armazenados sob refrigeração a $1\pm 0,5$ °C. A qualidade dos frutos foi avaliada na colheita e após 50(± 5), 105(± 5) e 200(± 5) dias de armazenagem mais sete dias a $23\pm 0,5$ °C. Na colheita, assim como para cada período de armazenagem, duas amostras por pomar foram utilizadas para a determinação da firmeza de polpa (acústica e com penetrômetro), teor de SS, AT, densidade, CMS e incidência de distúrbios fisiológicos (escurecimento de polpa e rachadura senescente). O IA foi determinado apenas na colheita, enquanto que, a respiração foi analisada somente após a armazenagem.

3.3.4 Análise dos frutos

Nos experimentos 1, 2 e 3, a massa fresca dos frutos foi determinada por meio de balança analítica.

A determinação da densidade foi realizada colocando individualmente os frutos num frasco graduado contendo 1000 mL de água. Em seguida, o fruto foi imerso com auxílio de um garfo de ferro composto por três pontas ($\sim 0,1$ mm de diâmetro), sendo registrado o volume de deslocamento de água promovido pela imersão do fruto. A densidade dos frutos foi determinada pela relação entre a massa do fruto e o volume de água deslocado.

Uma fatia longitudinal em formato de cunha, incluindo polpa e casca, foi removida de cada fruto e fatias de dois frutos foram combinadas para preparar uma amostra de suco em um espremedor centrífugo (Champion, Plastaket Mfg. USA), sendo o teor de SS e a AT determinados em cada amostra. O teor de SS foi determinado utilizando-se um refratômetro digital com compensação automática da temperatura (Atago, Japão), enquanto a AT foi determinada pela titulação de 10 mL de suco com hidróxido de sódio (NaOH; 0,1 N - Experimento 1 e 2) ou 5 mL de suco com hidróxido de potássio (KOH; 0,1 N -

Experimento 3) até pH 8,2, usando um titulador automático (Radiometer Analytical, França).

O índice de degradação do amido foi estimado visualmente por meio de uma escala de 1 a 9 (Experimento 1 e 2) e de 1 a 6 (Experimento 3) depois de expor uma secção equatorial de cada fruto a solução de I_2+KI . Os valores mínimos das escalas correspondem a reação da solução com o amido em 100% da superfície do fruto enquanto os valores máximos de cada escala correspondem a 0% de reação.

Nos experimentos 1 e 2, a firmeza de polpa foi medida em um lado da superfície de cada fruto, onde previamente a epiderme foi removida, pela utilização de um penetrômetro eletrônico, com ponteira de 11 mm (Guss, Africa do Sul), sendo a determinação realizada nos primeiros 8 mm de profundidade, a partir da epiderme dos frutos (Profundidade 1; P1). No experimento 3, a firmeza de polpa foi medida em dois lados opostos da superfície de cada fruto, onde previamente a epiderme foi removida, pela utilização de penetrômetro eletrônico, com ponteira de 11 mm (Mohr Digi-Test; Mohr and Associates, Richland, WA), sendo uma medida realizada na P1, e a segunda medida entre o limite final da P1 até a o início da zona carpelar (Profundidade 2; P2) (Figura 5A). Adicionalmente, no experimento 3, a firmeza de polpa foi determinada acusticamente por meio de um sensor de impacto (Aweta, Nootdorp, Netherlands), sendo a medida determinada na região equatorial de cada fruto, em quatro lados equidistantes. O equipamento registra a massa dos frutos e, em seguida, a vibração gerada pelo toque suave (sem desenvolvimento de dano mecânico) de uma esfera com velocidade constante, sendo a combinação de massa e frequência utilizada para calcular o índice de firmeza acústica.

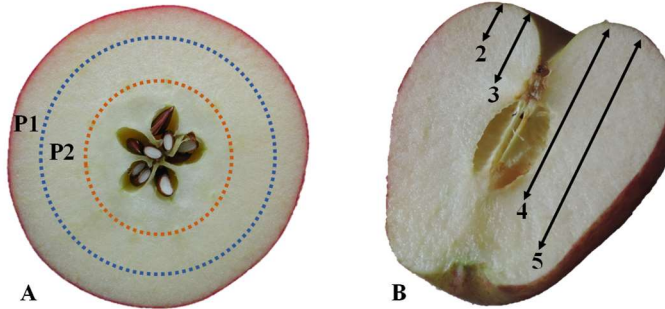
Nos experimentos 1 e 2, o CMS foi estimado em uma amostra de tecido da polpa e casca de cada fruto, coletada na região equatorial, na forma de um disco transversal (~11 mm de espessura), sendo as sementes removidas. Determinou-se a

massa fresca dos discos transversais e, em seguida, os discos foram colocadas em estufa a 65 °C por pelo menos 48 horas e, então pesadas novamente para determinação da massa seca. A determinação do CMS no experimento 3 foi similar àquela descrita para os experimentos 1 e 2, diferindo apenas que todo o tecido do carpelo foi removido com o auxílio de um furador de rolha e os frutos foram secos a temperatura de 70 °C. O CMS de cada amostra foi determinado pela relação entre a massa seca e a massa fresca, sendo os resultados expressos em percentual.

Para a determinação da taxa respiratória (experimento 3), três repetições compostas por três ou quatro frutos (~1,0 kg) foram mantidos em jarras de vidro (~3,8 L) fechadas com tampa de *teflon* com dois orifícios (septos). Uma mangueira foi acoplada em um dos septos e ar comprimido, livre de etileno, foi introduzido na jarra (100 mL min⁻¹) por pelo menos uma hora. Amostras de gás (1,5 mL) foram coletadas a partir do septo de saída de ar com auxílio de uma seringa. As amostras foram injetadas em um cromatógrafo a gás (HP 5980, Agilent Technologies, Palo Alto, CA) equipado com metanador, detector de ionização de chama e coluna de vidro de 46 cm (comprimento) x 0,32 cm (diâmetro) contendo Paropack Q (Supelco Co. Bellefonte, PA). As temperaturas do forno, injetor e detector foram de 60, 100 e 200 °C, respectivamente. Os fluxos de N₂, H₂ e ar foram de 0,5, 0,17 e 3,3 mL s⁻¹, respectivamente.

A incidência de podridão e distúrbios fisiológicos foram analisadas visualmente atribuindo se notas: 1. Ausente; 2. Presente. Exceção ocorreu no experimento 3, no qual, a severidade do distúrbio fisiológico escurecimento de polpa foi analisada longitudinalmente, partindo da região peduncular para a calicinar, atribuindo as seguintes notas: 1. Ausência; 2. Sintomas concentrado na região peduncular; 3. Sintomas até a região de início do carpelo; 4. Sintomas até o final da região carpelar; 5. Sintomas até a região calicinar (Figura 5B).

Figura 5 - Corte transversal e longitudinal representando, respectivamente, as diferentes regiões utilizadas para a determinação da firmeza de polpa (5A)⁽¹⁾ e para a análise da severidade do distúrbio fisiológico escurecimento de polpa (5B)⁽²⁾.



Fonte: Adaptado de *Mohr and Associates, Inc.* Disponível em: <<http://www.mohr-engineering.com/documents/apstdy823nsbtedt4b-2.pdf>>.

Acesso em 11 jan. 2016 (A); Produção do próprio autor (B).

⁽¹⁾Firmeza de polpa: P1. Região externa do córtex, na qual normalmente a firmeza de polpa é determinada (~8mm de profundidade a partir da epiderme); P2. Região interna do córtex (entre o limite final da P1 até a o início da zona carpelar).

⁽²⁾Escurecimento de polpa (1-5): 1. Ausência; 2. Sintomas concentrado na região peduncular; 3. Progressão até a região de início do carpelo; 4. Progressão até o final da região carpelar; 5. Progressão até a região calicinar.

3.3.5 Delineamento experimental e análise estatística

Os experimentos 1 e 2 foram conduzidos em delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial com três repetições, sendo cada repetição constituída de 10 plantas. Em cada um dos locais, utilizou-se o arranjo fatorial 2x4 (2014) ou 2x6 (2015), provenientes da combinação de dois níveis do fator portaenxertos (M-9 e Marubakaido com filtro M-9) e quatro ou seis níveis, dependendo do ano, do fator clones de ‘Gala’ (‘Galaxy’, ‘Imperial Gala’, ‘Maxi Gala’, ‘Royal Gala’,

‘Baigent’ e ‘Real Gala’), O experimento 3 foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado.

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) para determinar a significância dos fatores principais e, quando aplicável, das interações. No experimento 1, os dados foram submetidos a análise de regressão para determinar as tendências de mudanças dos atributos de maturação e qualidade avaliados ao longo do tempo. Nos experimentos 2 e 3, os efeitos de tratamentos foram determinados por meio do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, ou, quando o número de grau de liberdade do tratamento foi igual a 1, pelo teste F da ANOVA,.

As relações entre o conteúdo de matéria seca na colheita com a qualidade dos frutos na colheita e após armazenagem (Experimento 2) foram determinadas por meio da análise de correlação de *Pearson*. Nesta análise, os efeitos dos fatores principais local, clone e portaenxerto foram agrupados, sendo cada pomar considerado uma repetição. No experimento 3, a análise de correlação foi aplicada individualmente para cada um dos pomares com o objetivo de determinar qual a melhor variável, monitorada ao longo da armazenagem, melhor se correlaciona com a incidência de escurecimento de polpa.

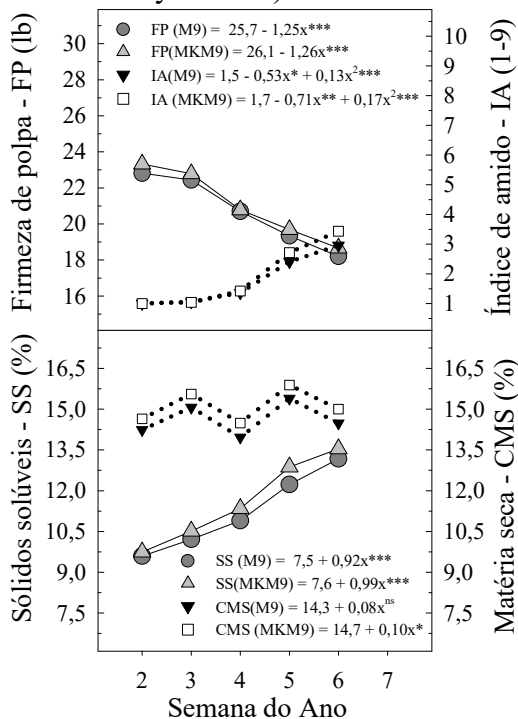
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.4.1 Experimento 1: Relação entre CMS e índices de maturação na planta

Variações entre os tratamentos (combinação dos níveis de clone e portaenxerto), dentro de cada local, foram verificadas quanto aos atributos avaliados ao longo da maturação dos frutos, porém, a tendência de alteração foi similar entre os quatro clones de ‘Gala’ avaliados (‘Galaxy’, ‘Imperial Gala’, ‘Maxi Gala’ e ‘Royal Gala’). Por isso, o fator clone foi agrupado, sendo apresentado somente o efeito de portaenxerto (Figura 6, 7 e 8).

Todavia, os modelos matemáticos empregados para cada combinação dos fatores estudados, assim como as respectivas significâncias, são apresentados no Apêndice C.

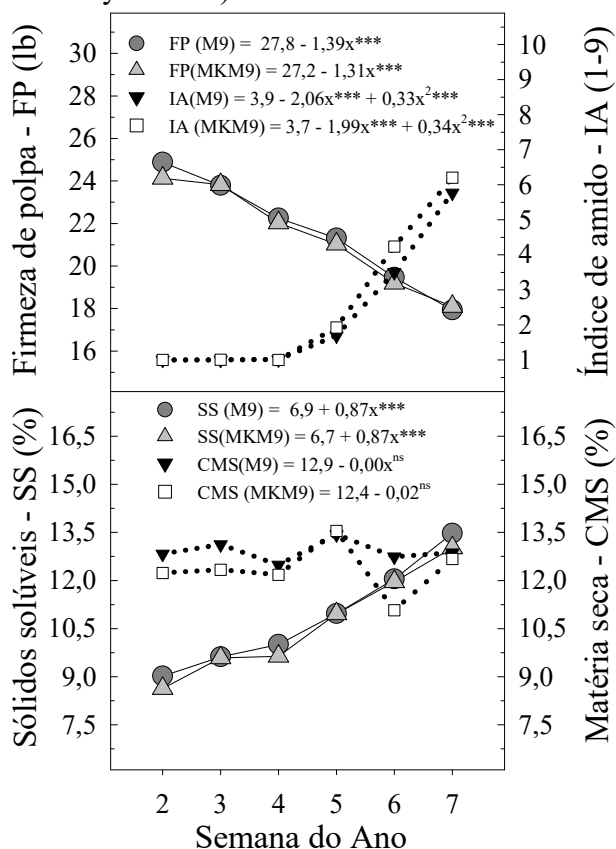
Figura 6 - Firmeza de polpa, teor de sólidos solúveis, índice de amido e conteúdo de matéria seca de maçãs clones de ‘Gala’ durante a evolução da maturação na planta. As maçãs foram colhidas de macieiras enxertadas sobre Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) ou M-9 (M9) em Caçador. Cada ponto representa a média de doze repetições de 10 frutos (n = 120 frutos) obtido da combinação de quatro clones de ‘Gala’ (‘Galaxy’, ‘Imperial Gala’, ‘Maxi Gala’ e ‘Royal Gala’) e três blocos.



Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Efeito não significativo (^{ns}) ou significativo a 5^(*) e 0,1%^(***).

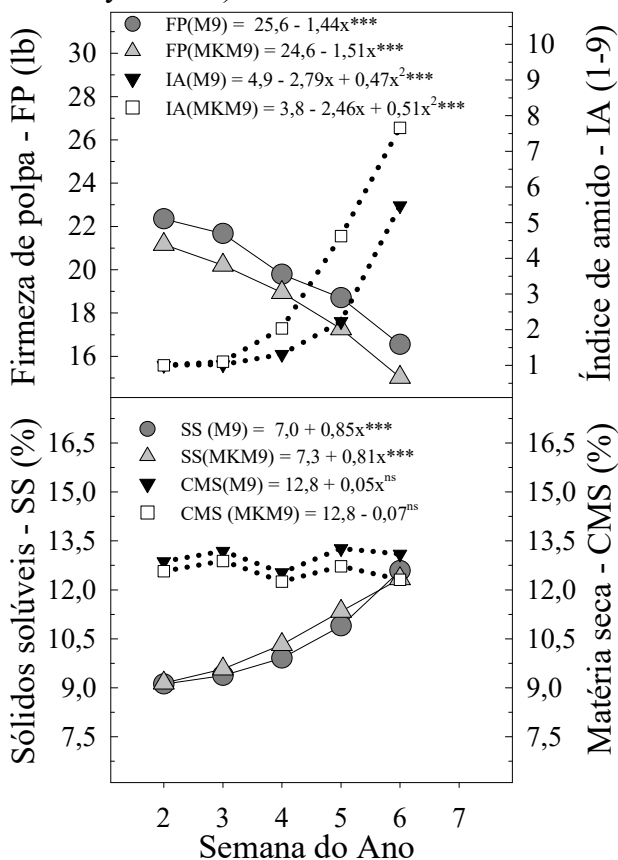
Figura 7 - Firmeza de polpa, teor de sólidos solúveis, índice de amido e conteúdo de matéria seca de maçãs clones de ‘Gala’ durante a evolução da maturação na planta. As maçãs foram colhidas de macieiras enxertadas sobre Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) ou M-9 (M9) em São Joaquim. Cada ponto representa a média doze repetições de 10 frutos (n = 120 frutos) obtido da combinação de quatro clones de ‘Gala’ (‘Galaxy’, ‘Imperial Gala’, ‘Maxi Gala’ e ‘Royal Gala’) e três blocos.



Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Efeito não significativo (^{ns}) ou significativo a 0,1(^{***}).

Figura 8 - Firmeza de polpa, teor de sólidos solúveis, índice de amido e conteúdo de matéria seca de maçãs clones de ‘Gala’ durante a evolução da maturação na planta. As maçãs foram colhidas de macieiras enxertadas sobre Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) ou M-9 (M9) em Vacaria. Cada ponto representa a média doze repetições de 10 frutos (n = 120 frutos) obtido da combinação de quatro clones de ‘Gala’ (‘Galaxy’, ‘Imperial Gala’, ‘Maxi Gala’ e ‘Royal Gala’) e três blocos.



Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Efeito não significativo (^{ns}) ou significativo a 0,1 (^{***}).

A evolução da maturação dos frutos na planta foi caracterizada pela redução da firmeza de polpa e aumento do teor de sólidos solúveis (SS) e do índice de degradação do amido (IA), sendo a dinâmica de alterações destas variáveis similar nos três locais estudados, independentemente do portaenxerto (Figura 6, 7 e 8), Estes padrões de alterações já eram esperados por serem característicos de maçãs ‘Gala’ e estão de acordo com resultados obtidos por Argenta e Mondardo (1994) e Plotto et al. (1995) em maçãs ‘Gala’ produzidas no Brasil e Estados Unidos, respectivamente.

Embora pequenas oscilações do conteúdo de matéria seca (CMS) foram verificadas entre os locais ao longo do período de monitoramento da maturação, a tendência de acúmulo de CMS não variou significativamente em função da data de colheita em cinco das seis combinações de local (3) e portaenxerto (2) (Figura 6, 7 e 8). Leve aumento do CMS (0,10% por semana) foi detectado apenas durante a maturação das maçãs produzidas em Caçador sobre o portaenxerto MKM9. De acordo com Schechte, Proctor e Elfving (1993a; 1993b), o CMS varia expressivamente nos dois meses subsequentes ao período de plena floração (PF), havendo posteriormente, mudanças mínimas até a colheita dos frutos. A ausência de mudanças significativas no CMS observada no presente estudo coincide com resultados obtidos em maçãs ‘Fuji’ (BOWEN; WATKINS, 1997) e em maçãs ‘Delicious’ e ‘McIntosh’ (SCHECHTE; PROCTOR; ELFVING, 1993a). Pequeno aumento do CMS durante a maturação, como aquele observado em Caçador (MKM9), foi verificado em maçãs ‘Empire’ (SCHECHTE; PROCTOR; ELFVING, 1993a).

O fato do CMS se manter estável durante o período de maturação, marcado pela significativa redução da firmeza da polpa e degradação do amido, evidencia que ele não é uma boa medida para identificar o estágio de maturação de maçãs na planta (PALMER et al., 2010).

A dinâmica de alterações dos atributos analisados durante a maturação na planta, em cada um dos locais, não foi afetada pelo fator portaenxerto (Figura 6, 7 e 8). Porém, efeito de portaenxerto sobre a maturação dos frutos foi observado em Vacaria, onde, surpreendentemente, frutos produzidos em plantas enxertadas sobre M9 apresentaram estágio de maturação ligeiramente atrasado em relação ao MKM9, conforme evidenciado pela menor firmeza de polpa e pela antecipação da degradação do amido. Os efeitos de portaenxertos anões (M9, por exemplo) em relação a portaenxertos vigorosos (MK - Marubakaido, por exemplo) sobre a antecipação da maturação de maçãs são bem conhecidos (DRAKE et al., 1988; BARDEN; MARINI, 1992; FALLAHAI et al., 2002). Porém, a ausência de efeito de portaenxertos observadas no presente estudo pode estar associada ao controle do vigor do portaenxerto MK, exercido pelo interenxerto M9, conforme previamente descrito em estudos anteriores (BARTNICKI, 2014; FIOVARANÇO, 2015). Estas observações sugerem que os efeitos de portaenxerto, como aquele observado em Vacaria, podem estar atrelados à influência de fatores não controlados no presente estudo (início do período de floração, número e tamanho de frutos por planta, por exemplo), que podem influenciar a maturação dos frutos e confundir os efeitos de portaenxertos (AUTIO, 1991).

3.4.2 Experimento 2: Relação entre CMS na colheita e qualidade dos frutos na colheita e após armazenagem

Em 2014, os frutos produzidos em Caçador e São Joaquim foram colhidos em estágio de maturação ideal para médios a longos períodos de armazenagem, conforme evidenciado pela firmeza de polpa superior a 17 lb e IA inferior a 6 (Escala 1-9) (Tabela 6; ARGENTA; MONDARDO, 1994; PLOTTO et al., 1995; ARGENTA; VIEIRA; SCOLARO, 2010). Apesar de valores de firmeza de polpa inferior a 17 lb ou

IA superior a 6 tenham sido observados em Caçador ('Galaxy'/M9) e São Joaquim ('Royal Gala'/M9 e 'Imperial Gala'/MKM9), respectivamente, o uso combinado dos dois atributos confirma que a colheita foi realizada no momento adequado para máxima conservação da qualidade. Por outro lado, em Vacaria, o IA variou entre pomares de 5,3 a 5,8 (M9) e de 7,4 a 7,8 (MKM9), enquanto que, a firmeza de polpa foi inferior a 17 e 16 lb nos portaenxertos M9 e MKM9, respectivamente, indicando que os frutos produzidos neste local se encontravam em estágio de maturação mais avançado no momento da colheita, comparativamente aos demais locais.

Em 2015, frutos produzidos em Caçador e São Joaquim apresentaram IA inferior a 6 e superior a 7, respectivamente, porém, com exceção dos pomares 'Imperial Gala'/M9 e 'Royal Gala'/M9 em Caçador, a firmeza de polpa foi inferior a 17 lb para todas as demais combinações de local, clone e portaenxerto (Tabela 7). A análise conjunta de ambos os atributos de maturação indicou que frutos produzidos em São Joaquim apresentaram estágio de maturação ligeiramente avançado em relação a Caçador e os frutos de ambos os locais foram colhidos em estágio de maturação inadequados para longos períodos de armazenagem (ARGENTA; MONDARDO, 1994; PLOTTO et al., 1995; ARGENTA; VIEIRA; SCOLARO, 2010).

Em frutos colhidos em 2014, o teor de SS variou entre os pomares de 13,0 a 14,0%, 12,5 a 13,4% e 12,0 a 13,0% em frutos produzidos em Caçador, São Joaquim e Vacaria, respectivamente (Tabela 8). No ano seguinte (2015), o teor de SS variou em Caçador de 12,2 a 13,4% e, em São Joaquim, de 12,4 a 13,0% (Tabela 9).

O CMS (média de cada pomar) de frutos produzidos em Caçador variou de 13,4 a 15,5% em 2014 (Tabela 8) e de 13,5 a 15,0 em 2015 (Tabela 9), sendo estes valores similares aqueles encontrados por Palmer et al. (2010) e McGlone et al. (2003) em maçãs 'Royal Gala' produzidas na Nova Zelândia. Por outro lado, em ambos os anos, o CMS (média de cada pomar) de frutos

produzidos em São Joaquim e Vacaria foi similar ou inferior, dependendo do pomar, ao limite mínimo encontrado em Caçador.

Tabela 6 - Firmeza de polpa e índice de degradação de amido na colheita. Os frutos foram colhidos em 2014 em Caçador, São Joaquim e Vacaria em plantas enxertadas sobre Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) ou M-9 (M9).

Clone	Firmeza de polpa (lb)		IA (1-9)	
	M9	MKM9	M9	MKM9
Caçador				
Galaxy	16,9 Bc ⁽¹⁾	19,0 Aa	3,9 Ab	3,3 Aab
Imperial Gala	19,2 Aa	18,8 Aa	2,3 Bb	2,9 Ab
Maxi Gala	18,2 Ab	18,7 Aa	3,1 Aa	3,4 Aab
Royal Gala	18,5 Aab	18,1 Aa	2,5 Bb	4,1 Aa
<i>Média</i>	<i>18,1 A</i>	<i>18,7 A</i>	<i>3,0 B</i>	<i>3,4 A</i>
<i>Desvio padrão</i>	<i>2,3</i>	<i>2,5</i>	<i>2,1</i>	<i>2,3</i>
São Joaquim				
Galaxy	17,8 Ab	18,3 Aa	6,0 Aa	5,9 Ab
Imperial Gala	18,6 Aa	17,3 Bb	5,0 Bb	7,4 Aa
Maxi Gala	17,6 Bb	18,4 Aa	5,8 Aab	5,6 Ab
Royal Gala	18,0 Aab	18,3 Aa	6,1 Aa	6,0 Ab
<i>Média</i>	<i>17,9 A</i>	<i>18,1 A</i>	<i>5,8 B</i>	<i>6,2 A</i>
<i>Desvio padrão</i>	<i>1,8</i>	<i>1,8</i>	<i>2,0</i>	<i>2,2</i>
Vacaria				
Galaxy	16,5 Aa	15,1 Ba	5,8 Ba	7,8 Aa
Imperial Gala	16,4 Aa	15,2 Ba	5,3 Ba	7,4 Aa
Maxi Gala	16,6 Aa	15,0 Ba	5,4 Ba	7,6 Aa
Royal Gala	16,7 Aa	14,9 Ba	5,4 Ba	7,6 Aa
<i>Média</i>	<i>16,5 A</i>	<i>15,0 B</i>	<i>5,5 B</i>	<i>7,7 A</i>
<i>Desvio padrão</i>	<i>1,6</i>	<i>1,9</i>	<i>2,2</i>	<i>1,9</i>

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

⁽¹⁾Letras minúsculas na coluna comparam efeito de clone dentro de um mesmo portaenxerto e local de produção. Letras maiúsculas na linha comparam efeito de portaenxerto dentro de um mesmo clone e local de produção. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 7 - Firmeza de polpa e índice de degradação de amido de clones de 'Gala' na colheita. Os frutos foram colhidos em 2015 em Caçador e São Joaquim em plantas enxertadas sobre Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) ou M-9 (M9).

Clone	Firmeza de polpa (lb)		IA (1-9)	
	M9	MKM9	M9	MKM9
Caçador				
Galaxy	15,8 Ab ⁽¹⁾	16,0 Aab	4,5 Aab	5,3 Aab
Imperial Gala	17,3 Aa	16,3 Bab	2,8 Acd	4,4 Bbc
Maxi Gala	16,0 Ab	15,8 Ab	5,2 Aa	5,9 Aa
Royal Gala	17,5 Aa	16,5 Bab	2,4 Bd	4,9 Aabc
Baigent	16,3 Ab	16,9 Aa	3,7 Abc	4,0 Ac
Real Gala	16,3 Ab	16,8 Aa	3,7 Abc	3,7 Ac
<i>Média</i>	<i>16,5 A</i>	<i>16,4 A</i>	<i>3,7 B</i>	<i>4,7 A</i>
<i>Desvio padrão</i>	<i>2,0</i>	<i>2,1</i>	<i>2,6</i>	<i>2,5</i>
São Joaquim				
Galaxy	16,2 Ba	16,8 Aa	7,8 Aab	7,2 Aa
Imperial Gala	16,2 Aa	16,1 Ab	8,7 Aa	8,0 Ba
Maxi Gala	15,8 Aa	16,2 Aab	7,6 Ab	7,5 Aa
Royal Gala	15,7 Aa	16,1 Ab	8,4 Aab	7,9 Aa
Baigent	15,5 Ba	16,0 Ab	7,7 Aab	7,8 Aa
Real Gala	16,0 Ba	16,5 Aab	7,6 Ab	7,3 Aa
<i>Média</i>	<i>16,3 A</i>	<i>15,5 B</i>	<i>7,9 A</i>	<i>7,6 B</i>
<i>Desvio padrão</i>	<i>1,6</i>	<i>1,5</i>	<i>2,0</i>	<i>2,1</i>

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

⁽¹⁾Letras minúsculas na coluna comparam efeito de clone dentro de um mesmo portaenxerto e local de produção. Letras maiúsculas na linha comparam efeito de portaenxerto dentro de um mesmo clone e local de produção. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Variações entre locais de produção podem estar associadas as condições ambientais durante as diferentes fases do ciclo de desenvolvimento dos frutos e/ou práticas culturais que favorecem o transporte de carboidratos para os frutos. Em

kiwi, temperatura alta durante a primavera favoreceu o acúmulo de matéria seca nos frutos, ao passo que, maior crescimento vegetativo e menor CMS nos frutos foram observados em verões quentes (SNELGAR et al., 2005). O aumento da intensidade de raleio (redução da número de frutos na planta) foi positivamente relacionada com a antecipação da maturação de maçãs e aumento do acúmulo de matéria seca (PALMER; GIULIANI; ADAMS, 1997; WÜNSCHE et al., 2005; SAEI et al., 2011). Em maçãs ‘Braeburn’, o CMS de frutos provenientes de plantas com baixa carga (100 frutos/planta) foi aproximadamente três pontos percentuais maior do que em àqueles de planta com alta carga (400 frutos/planta) (WÜNSCHE et al., 2005). Dentro de um certo limite, quanto maior a interceptação da luz ou, alternativamente, menor o sombreamento de folhas e frutos, maior a taxa fotossintética e a produtividade de macieiras (WÜNSCHE; LAKSO, 2000), indicando que práticas culturais, como a poda de verão, podem favorecer o acúmulo de matéria seca nos frutos. Estudos anteriores também indicaram que a partição da matéria seca entre a parte aérea e a raiz pode ser influenciado pelo portaenxerto. Trabalhando com maçãs ‘BC-2 Fuji’, Fallahi et al. (2001) observaram menor fotossíntese líquida e menor teor de nitrogênio nas folhas de plantas enxertadas sobre portaenxerto Budagovski-9, comparativamente ao portaenxerto M-7. A assimilação de carbono em folhas de macieiras ‘Fuji’ foi superior no portaenxerto M-9 em comparação ao M-7 e M-26, todavia, o efeito foi influenciado pelo ano (FALLAHI et al., 2002). Os resultados do presente estudo sugerem maior efeito do local de produção sobre a variação de CMS e ausência ou menor efeito de portaenxerto sobre o CMS dos frutos.

O CMS se correlacionou positivamente com a firmeza de polpa e com o teor de SS na colheita (Figura 9). Apesar da relação significativa em ambos os anos, o coeficiente de correlação foi maior em 2014.

A relação entre CMS na colheita com a qualidade dos frutos após a armazenagem variou entre os atributos de qualidade e foi influenciada pelo ano (Figura 10).

Tabela 8 - Teor de sólidos solúveis e conteúdo de matéria seca (CMS) de clones de ‘Gala’ na colheita. Os frutos foram colhidos em 2014 em Caçador, São Joaquim e Vacaria em plantas enxertadas sobre Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) ou M-9 (M9).

Clone	SS (%)		CMS (%)	
	M9	MKM9	M9	MKM9
Caçador				
Galaxy	13,3 Aa	13,4 Ab	13,4 Bb	14,6 Aa
Imperial Gala	13,0 Ba	14,0 Aa	15,0 Aa	15,5 Aa
Maxi Gala	13,1 Ba	13,4 Ab	14,9 Aa	14,8 Aa
Royal Gala	13,3 Aa	13,5 Ab	14,7 Aa	15,0 Aa
<i>Média</i>	<i>13,2 B</i>	<i>13,5 A</i>	<i>14,5 B</i>	<i>15,0 A</i>
<i>Desvio padrão</i>	<i>0,5</i>	<i>0,5</i>	<i>1,5</i>	<i>1,4</i>
São Joaquim				
Galaxy	13,7 Aa	13,7 Aa	13,1 Aa	13,1 Aa
Imperial Gala	13,8 Aa	13,0 Bb	13,1 Aa	12,6 Aab
Maxi Gala	13,4 Ab	12,5 Bc	13,0 Aa	12,2 Bb
Royal Gala	13,2 Ab	12,9 Bb	12,6 Aa	12,4 Ab
<i>Média</i>	<i>13,5 B</i>	<i>13,1 A</i>	<i>13,0 A</i>	<i>12,6 B</i>
<i>Desvio padrão</i>	<i>0,5</i>	<i>0,6</i>	<i>1,0</i>	<i>0,8</i>
Vacaria				
Galaxy	12,7 Aa	12,5 Aa	12,5 Ab	12,6 Aa
Imperial Gala	12,3 Ab	12,0 Bb	13,1 Aab	12,1 Ba
Maxi Gala	12,3 Ab	12,4 Aa	13,2 Aab	12,2 Ba
Royal Gala	13,0 Aa	12,4 Ba	13,6 Aa	12,3 Ba
<i>Média</i>	<i>12,6 B</i>	<i>12,3 A</i>	<i>13,0 A</i>	<i>12,3 B</i>
<i>Desvio padrão</i>	<i>0,5</i>	<i>0,4</i>	<i>1,4</i>	<i>1,6</i>

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

⁽¹⁾Letras minúsculas na coluna comparam efeito de clone dentro de um mesmo portaenxerto e local de produção. Letras maiúsculas na linha comparam efeito de portaenxerto dentro de um mesmo clone e local de produção. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 9 - Teor de sólidos solúveis e conteúdo de matéria seca (CMS) de clones de ‘Gala’ na colheita. Os frutos foram colhidos em 2015 em Caçador e São Joaquim em plantas enxertadas sobre Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) ou M-9 (M9).

Clone	SS (%)		CMS (%)	
	M9	MKM9	M9	MKM9
Caçador				
Galaxy	12,7 Aa	13,3 Aa	13,5 Bb	14,2 Abc
Imperial Gala	12,6 Aa	12,9 Aa	14,5 Aa	14,6 Aab
Maxi Gala	12,8 Aa	13,0 Aa	13,6 Ab	13,8 Ac
Royal Gala	12,8 Aa	13,1 Aa	14,6 Aa	14,2 Abc
Baigent	12,2 Aa	13,2 Aa	13,5 Bb	14,3 Aabc
Real Gala	13,1 Aa	13,4 Aa	14,1 Bab	15,0 Aa
<i>Média</i>	<i>12,7 B</i>	<i>13,2 A</i>	<i>14,0 B</i>	<i>14,3 A</i>
<i>Desvio padrão</i>	<i>0,6</i>	<i>0,5</i>	<i>1,6</i>	<i>1,5</i>
São Joaquim				
Galaxy	12,8 Aa	12,9 Aa	12,3 Abc	12,3 Ab
Imperial Gala	12,9 Aa	13,0 Aa	13,0 Aab	11,7 Bb
Maxi Gala	12,9 Aa	13,0 Aa	12,3 Bbc	13,3 Aa
Royal Gala	12,6 Aa	12,9 Aa	11,3 Ac	11,8 Ab
Baigent	12,8 Aa	12,6 Aa	12,3 Abc	12,0 Ab
Real Gala	12,4 Aa	12,4 Aa	13,8 Aa	11,8 Bb
<i>Média</i>	<i>12,7 A</i>	<i>12,8 A</i>	<i>12,5 A</i>	<i>12,1 B</i>
<i>Desvio padrão</i>	<i>0,3</i>	<i>0,3</i>	<i>2,4</i>	<i>2,1</i>

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

⁽¹⁾Letras minúsculas na coluna comparam efeito de clone dentro de um mesmo portaenxerto e local de produção. Letras maiúsculas na linha comparam efeito de portaenxerto dentro de um mesmo clone e local de produção. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

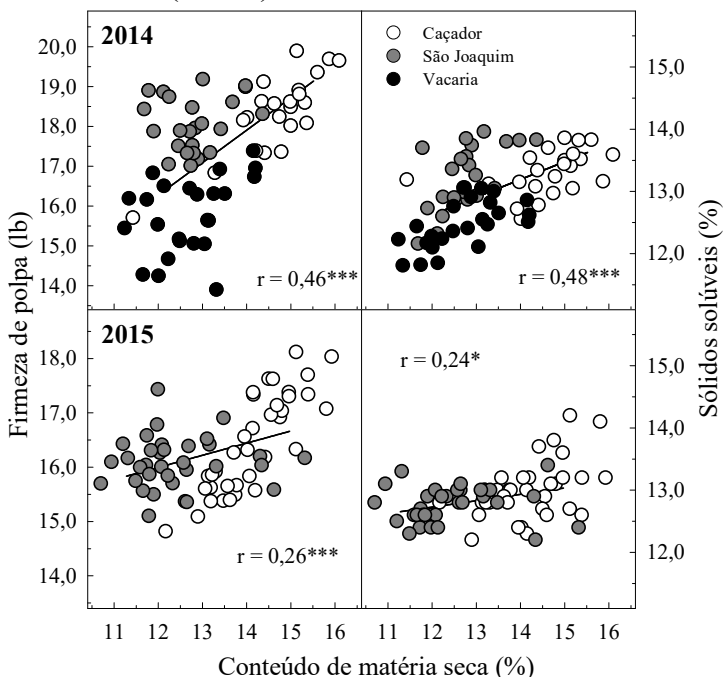
O CMS na colheita não se correlacionou com a firmeza de polpa após armazenagem em 2014 e, embora significativa, a relação foi fraca em 2015, indicando que apenas uma pequena parte da variação da firmeza de polpa entre os tratamentos após

a colheita pôde ser explicada pela variação do CMS determinado na colheita (Figura 10). Saei et al. (2011) separaram maçãs ‘Imperial Gala’/M9 em cinco classes de matéria seca (1. <13%; 5.>16%) e notaram que a firmeza de polpa após a armazenagem foi dependente da firmeza de polpa na colheita, porém, a taxa de perda de firmeza de polpa foi mais acentuada nos frutos pertencentes a classe mais baixa de matéria seca (<13%), sugerindo que o acúmulo de matéria seca pode ser crítico para a formação e manutenção de tecidos firmes. De acordo com Palmer et al. (2010), a firmeza de polpa após armazenagem é primeiramente dependente da firmeza de polpa na colheita, o que ressalta a importância da colheita de maçãs ‘Gala’ em estágio de maturação ideal quando o objetivo é a conservação por longos períodos (ARGENTA; MONDARDO, 1994; PLOTTO et al., 1995). No presente estudo, com base nos valores de firmeza de polpa e IA, os frutos produzidos em Caçador e São Joaquim (2014) foram colhidos em estágio de maturação ideal para armazenagem por longos períodos, no entanto, o CMS foi maior em frutos colhidos em Caçador, ao passo que, a conservação da firmeza de polpa foi maior em São Joaquim, o que indica que, nas condições estudadas, o efeito de local de produção, sobre a conservação da firmeza de polpa, se sobrepõe ao do CMS, limitando o uso deste atributo como indicador da firmeza de polpa após armazenagem.

O CMS na colheita se correlacionou com teor de SS na colheita (Figura 9) e após armazenagem (Figura 10), sendo estes resultados coincidentes com àqueles observados para maçãs (WÜNSCHE; LAKSO, 2000; McGLONE et al., 2003; PALMER et al., 2010) e outras espécies, como o kiwi (VELEMIS; VASILAKAKIS; MANOLAKIS, 1997; JORDAN et al., 2000; CRISOSTO et al., 2012), o abacate (GAMBLE et al., 2010) e a manga (PADDA et al., 2011). O grau de associação entre estas variáveis foi maior em 2014 e, em ambos os anos, maior quando determinado após armazenagem, indicando que o CMS pode ser empregado como indicador do teor de SS de

maçãs em pós-colheita (McGLONE et al., 2003; PALMER et al., 2010).

Figura 9 - Coeficiente de correlação de *Pearson* entre o conteúdo de matéria seca com a firmeza de polpa e com o teor de sólidos solúveis de clones de ‘Gala’ na colheita. Os frutos foram colhidos em Caçador, São Joaquim ou Vacaria em plantas enxertadas sobre Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) ou M-9 (M9) em 2014 e 2015. (n = 72).



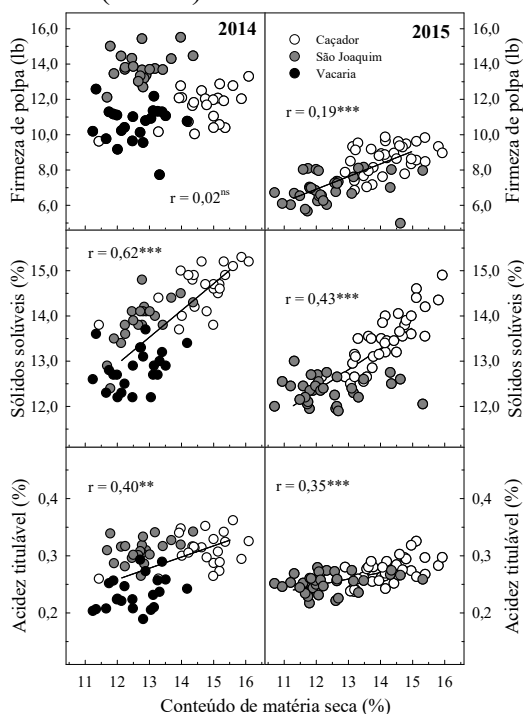
Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Coeficiente de correlação significativo a 5(*) e 0,1%(***)

A relação entre o CMS na colheita e a AT após armazenagem foi significativa em ambos os anos estudados (Figura 10), sendo estes resultados coincidentes com àqueles reportados por Palmer et al. (2010) em maçãs ‘Royal Gala’ e

‘Scifresh’ e por Famiani et al. (2012) em kiwi ‘Hayward’, sugerido que o CMS na colheita pode ser empregado como um importante indicador da qualidade sensorial dos frutos (PALMER et al., 2010; FAMIANI et al., 2012), embora não tenha relação consistente com a firmeza de polpa.

Figura 10 - Coeficiente de correlação de *Pearson* entre a matéria seca na colheita com a firmeza de polpa, teor de sólidos solúveis e acidez titulável de maçãs clone de ‘Gala’ após 195 (2014; gráficos a esquerda) ou 295 (2015; gráficos a direita) dias de armazenagem sob atmosfera controlada mais sete dias de prateleira a 23 °C. (n = 72).



Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Coeficiente de correlação não significativo (ns) ou significativo a 5(*) e 0,1%(***).

A associação entre o CMS e a incidência de escurecimento de polpa (Tabela 10) ou podridões (Tabela 11) foi fraca e contraditória entre os dois anos de estudo; positiva em 2014 e negativa em 2015.

Tabela 10 - Índice de correlação de *Pearson* entre os atributos de maturação/qualidade determinados na colheita e após armazenagem com a incidência de distúrbios fisiológicos em maçãs clones de ‘Gala, colhidas em macieiras enxertadas sobre Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) ou M-9 (M9). Os frutos foram colhidos em Caçador, São Joaquim e Vacaria e analisados na colheita e após 195 (2014) ou 295 (2015) dias de armazenagem sob atmosfera controlada mais sete dias de prateleira a 23 °C. (n = 72).

Variável	Escurecimento de polpa (1-2)		Rachadura (1-2)	
	2014	2015	2014	2015
Na colheita				
Matéria seca (%)	0,17***	-0,13***	-	0,19***
Firmeza de polpa (lb)	-0,01 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	-0,08 ^{ns}
Sólidos solúveis (%)	0,03 ^{ns}	0,18 ^{ns}	-	-
Iodo-amido (1-9) ⁽²⁾	-0,11***	0,14***	0,06 ^{ns}	0,25***
Após armazenagem				
Firmeza de polpa (lb)	-0,45***	-0,65***	-0,17***	-0,61***
Sólidos solúveis (%)	0,21 ^{ns}	-	-	-

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Coefficiente de correlação não significativo (^{ns}) ou significativo a 0,1% (***)

Não foi observada relação entre CMS e rachadura senescente em 2014 (Tabela 10), possivelmente devido à baixa incidência do distúrbio neste ano (Figura 11), ao passo que, em 2015, a incidência de rachadura senescente se correlacionou negativamente com o CMS na colheita.

A firmeza de polpa, determinada ao final da armazenagem, foi a variável que melhor se correlacionou com a incidência de distúrbios fisiológicos (Tabela 10) e podridão (Tabela 11).

Tabela 11 - Índice de correlação de *Pearson* entre os atributos de maturação/qualidade determinados na colheita e após armazenagem com a incidência de podridões em maçãs clones de ‘Gala, colhidas em macieiras enxertadas sobre Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) ou M-9 (M9). Os frutos foram colhidos em Caçador, São Joaquim e Vacaria e analisados na colheita e após 195 (2014) ou 295 (2015) dias de armazenagem sob atmosfera controlada mais sete dias de prateleira a 23 °C. (n = 72).

Variável	Podridões (1-2)	
	2014	2015
Na colheita		
Matéria seca (%)	0,10**	-0,11**
Firmeza de polpa (lb)	0,06 ^{ns}	-0,03 ^{ns}
Sólidos solúveis (%)	0,10**	0,20 ^{ns}
Iodo-amido (1-9) ⁽²⁾	-0,11***	0,11***
Após armazenagem		
Firmeza de polpa (lb)	-0,15***	-0,32***
Sólidos solúveis (%)	0,09 ^{ns}	0,27**

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Coefficiente de correlação não significativo (^{ns}) ou significativo a 1(**) e 0,1%(***).

Embora a susceptibilidade dos frutos ao desenvolvimento de escurecimento de polpa e rachadura senescente seja dependente do estágio de maturação na colheita, sendo maior quando os frutos são colhidos sobre maduros, a manifestação dos sintomas ocorre somente após longos períodos

de armazenagem (ARGENTA; MONDARDO, 1994; LEE; MATTHEIS; RUDELL, 2013). Estas observações explicam a ausência de associação entre o desenvolvimento destas desordens com os atributos de maturação analisados na colheita e, por outro lado, a relação significativa quando a firmeza de polpa foi determinada após a armazenagem. Relação entre aumento da susceptibilidade dos frutos a podridões com a redução da firmeza de polpa foram descritas por Ahmadi-Afzadi; Tahir; Nynom (2013).

A incidência de escurecimento de polpa, rachadura senescente e podridões variou com o ano de produção, local e portaenxerto. Variações entre clones foram casualmente observadas, porém, não foi verificado consistência de efeito entre o mesmo clone em diferentes anos (dados não apresentados). Considerando que não há evidência de que os clones mutantes de ‘Gala’ utilizados no presente estudo possuem susceptibilidade diferencial ao desenvolvimento de distúrbios associados a senescência e/ou a podridões (ARGENTA et al., 2015), os dados de clones foram agrupados, sendo apresentado somente os efeitos de portaenxertos dentro de cada local.

A incidência de escurecimento de polpa, rachadura senescente e podridões foram maiores em 2015 (Figura 11), sendo este efeito relacionado com a combinação entre o estágio de maturação avançado na colheita (Tabela 7), comparativamente ao ano de 2014 (Tabela 6) e, por outro lado, pelo período de armazenagem mais longo em 2015 (~100 dias).

Dependendo da variável e do local de produção, os efeitos de portaenxertos sobre o desenvolvimento de distúrbios fisiológicos e podridões foram contraditórios entre os diferentes anos (Figura 11). Em 2014, a incidência de escurecimento de polpa foi maior no M9 em Caçador e no MKM9 em São Joaquim, ao passo que, não houve efeito de portaenxerto em Vacaria. Já em 2015, a incidência de escurecimento de polpa foi consistentemente maior no MKM9, independentemente do local de produção. Índices significativos de rachadura senescente

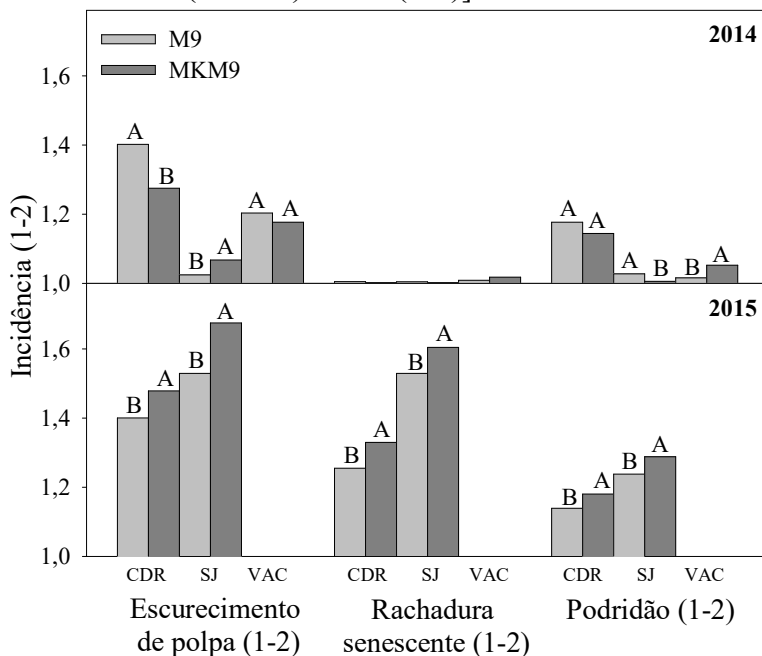
foram observados somente em 2015 e, assim como observado para o escurecimento de polpa, frutos produzidos sobre MKM9 foram mais susceptíveis ao dano. A incidência de podridões não foi afetada pelo portaenxerto em frutos produzidos em Caçador em 2014, porém foi maior no M9 em São Joaquim e no MKM9 em Vacaria. Já em 2015, a incidência de podridões foi sempre superior em frutos provenientes do MKM9.

Além do estágio de maturação na colheita e do tempo de armazenagem, a susceptibilidade de maçãs ao desenvolvimento de distúrbios associados com a senescência aumenta com a redução dos níveis de cálcio (Ca) solúvel (SAKS; SONEGO; BEN-ARIE, 1990). O Ca desempenha importante papel na estruturação da parede celular e na manutenção da integridade de membranas celulares (FREITAS et al., 2010) e se relacionada com a firmeza de polpa na colheita e com o amolecimento de maçãs durante a armazenagem (SAMS, 1999).

Trabalhando com maçãs ‘Goldspur Golden Delicious’, Drake et al. (1988) observaram efeito de portaenxertos sobre a firmeza de polpa e concentração de cálcio (Ca) dos frutos, sendo mais firmes e com maior teor de Ca os frutos produzidos sobre M26, comparativamente ao MM111. Em maçãs ‘Starkspur Supreme Delicious’, Autio (1991) reportou que frutos produzidos sobre MAC9 apresentaram os maiores valores de Ca, embora, dependendo do ano, não diferiu de outros portaenxertos como o M9 e o M27 EMLA, enquanto que, os menores teores de foram verificados no portaenxerto OAR1. Maçãs ‘Fuji’ provenientes de plantas enxertadas sobre MM106 apresentaram maior teor de Ca e menores relações K/Ca, Mg/Ca e (K+Mg)/Ca, comparativamente aos produzidos sobre MK ou MKM9 (CORRÊA et al. (2012). O teor mineral dos frutos não foi determinado no presente estudo, todavia, a inconsistência de efeito de portaenxerto sugere maior efeito de local e/ou ano de produção sobre o desenvolvimento de distúrbios associados ao envelhecimento dos frutos (Figura 11). Os dados do presente estudo indicam tendência de aumento da susceptibilidade ao

escurecimento de polpa, rachadura senescente e podridões em frutos colhidos em plantas enxertadas sobre MKM9. Todavia, as variações entre anos indicam a necessidade de estudos adicionais para confirmar essa hipótese.

Figura 11 - Incidência (1-2) de distúrbios fisiológicos (escurecimento de polpa e rachadura senescente) e podridões em maçãs clones de ‘Gala’ após 195 (2014) e 295 (2015) de armazenagem sob atmosfera controlada mais sete dias de prateleira a 23 °C. Os frutos foram colhidos em Caçador (CDR), São Joaquim (SJ) ou Vacaria (VAC) e, em cada local, em dois portaenxertos [Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) e M-9 (M9)].



Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Letras iguais, dentro de um mesmo ano e local para cada desordem, não diferem entre si pelo teste F da ANOVA ao nível de 5% de probabilidade.

3.4.3 Experimento 3: Relação entre CMS na colheita e qualidade após armazenagem para diferentes tempos de armazenagem

Medidas de firmeza da polpa na profundidade 1 (P1) e do IA indicaram que os frutos do pomar 2 estavam em estágio de maturação mais avançado na colheita, que os do pomar 1 (Tabela 12). A massa fresca dos frutos não variou entre os dois pomares.

Tabela 12 – Massa fresca, firmeza de polpa e índice de amido (IA) de maçãs ‘Gala’ na colheita.

Pomar	Massa fresca(g)	Firmeza de polpa P1 ⁽¹⁾ (lb)	IA (1-6)
1	198,8 a ⁽²⁾	18,1 a	3,5 b
2	209,4 a	15,7 b	4,5 a
Média	205,5	16,9	4,0
Desvio padrão	30,5	2,3	1,2

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

⁽¹⁾Firmeza de polpa determinada na camada mais externa do córtex (~8mm de profundidade em relação a epiderme).

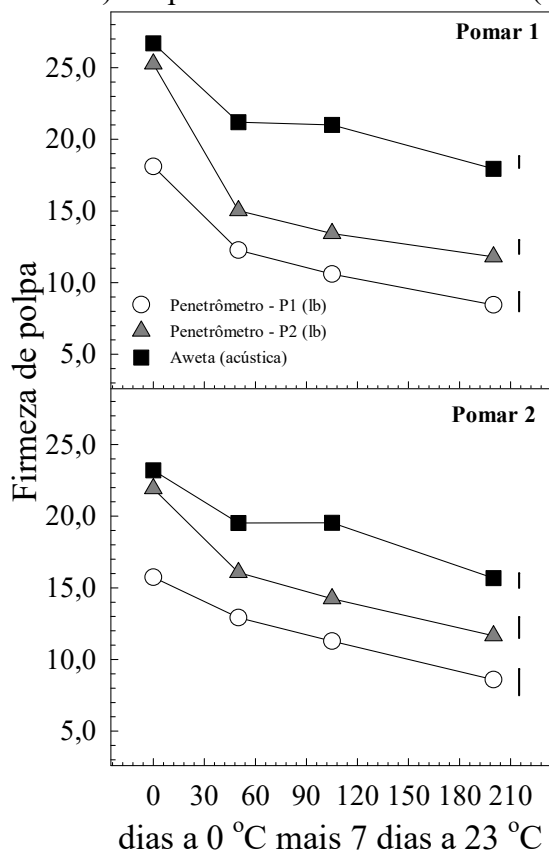
⁽²⁾Letras minúsculas na coluna, para cada categoria, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A firmeza de polpa de ambos os pomares foi menor na região mais externa do córtex (P1; ~8mm de profundidade a partir da epiderme, onde tradicionalmente a firmeza de polpa é medida) e maior na região mais interna do córtex (Profundidade 2; P2), a qual compreende a distância entre o limite de profundidade da P1 até a início da zona carpelar dos frutos (Figura 12).

O padrão de redução da firmeza da polpa durante a armazenagem foi semelhante para ambos os pomares (Figura 12). A firmeza de polpa na região próxima ao centro do fruto (P2) se manteve superior à da região próxima a epiderme (P1), embora, a redução da firmeza nos primeiros 50 dias de

armazenagem tenha sido mais acentuada na P2. Johnston et al. (2001) demonstraram que o amolecimento de maçãs 'Royal Gala' durante a armazenagem sob baixa temperatura (0 °C) consiste de três fases, sendo lenta no início da armazenagem, seguido por um rápido declínio e lenta na fase final de armazenagem.

Figura 12 - Alterações da firmeza de polpa de maçãs ‘Gala’ durante a armazenagem sob refrigeração a 1 °C mais sete dias de prateleira a 23 °C. A firmeza de polpa foi determinada por meio de penetrômetro (lb) em duas profundidades da polpa dos frutos (P1 e P2)⁽¹⁾ e por meio de sensor acústico (Aweta).



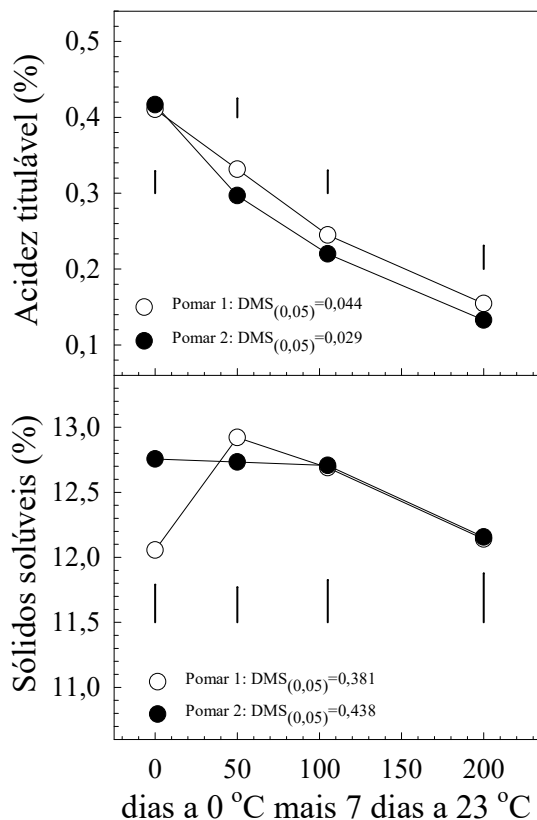
Fonte: produção do próprio autor, 2016.

⁽¹⁾Profundidade 1 (P1). Região mais externa do córtex (~8mm de profundidade a partir da epiderme) onde tradicionalmente a firmeza é determinada; Profundidade 2 (P2). Camada mais interna do córtex (entre o limite final da P1 até a o início da zona carpelar). Barras verticais dentro de cada gráfico representam a diferença mínima significativa ($p < 0,05$) entre períodos de armazenagem para um mesmo método de avaliação da firmeza de polpa.

Seguindo a mesma tendência, a firmeza de polpa acústica decresceu rapidamente nos primeiros 50 dias de armazenagem, no entanto, diferentemente daquela determinada pelo penetrômetro, as alterações da firmeza de polpa entre 50 e 105 dias de armazenagem (1,6 a 1,9 lb, dependendo do pomar e região de medição) não foram suficientes para promover alterações nas propriedades físicas dos frutos relacionadas a ressonância, portanto, durante este período, não foi observado variação significativa da firmeza de polpa determinada acusticamente (Figura 12). Porém, a partir deste ponto, a firmeza de polpa acústica decresceu novamente seguindo a mesma tendência observada para a firmeza determinada com o penetrômetro.

A AT decresceu significativamente durante todo o período de armazenagem, independentemente de pomar (Figura 13). O teor de SS aumentou até os 50 dias de armazenagem (12,1 para 12,9%) em frutos do pomar 1, com subsequente tendência de redução linear até o final da armazenagem. Em frutos do pomar 2, o teor de SS se manteve estável até os 105 dias de armazenagem (~12,7%) e, após este período, decresceu de forma similar àquela observada no pomar 1. O aumento do teor de SS durante o início da armazenagem, como observado em frutos do pomar 1, ocorre em resposta a hidrólise do amido (ARGENTA; MONDARDO, 1994; PLOTTO et al., 1995; McGLONE et al., 2003). Já a ausência de incremento observada em frutos do pomar 2 pode ser atribuída ao fato de que frutos deste pomar foram colhidos em estágio de maturação mais avançado, quando quase a maior parte do amido já havia sido degradado, conforme evidenciado pelo maior valor do índice de IA na colheita (Tabela 12). Por outro lado, as tendências de decréscimo do teor de SS, assim como da AT, com o avanço da armazenagem, são associadas ao uso destes substratos pelo metabolismo respiratório na geração de energia para manutenção dos tecidos já existentes e/ou crescimento de novas estruturas celulares (WÜNSCHE; LAKSO, 2000).

Figura 13 - Acidez titulável (%) e teor de sólidos solúveis (%) de maçãs ‘Gala’ durante a armazenagem sob refrigeração a 1 °C mais sete dias de prateleira a 23 °C.



Fonte: produção do próprio autor, 2016.

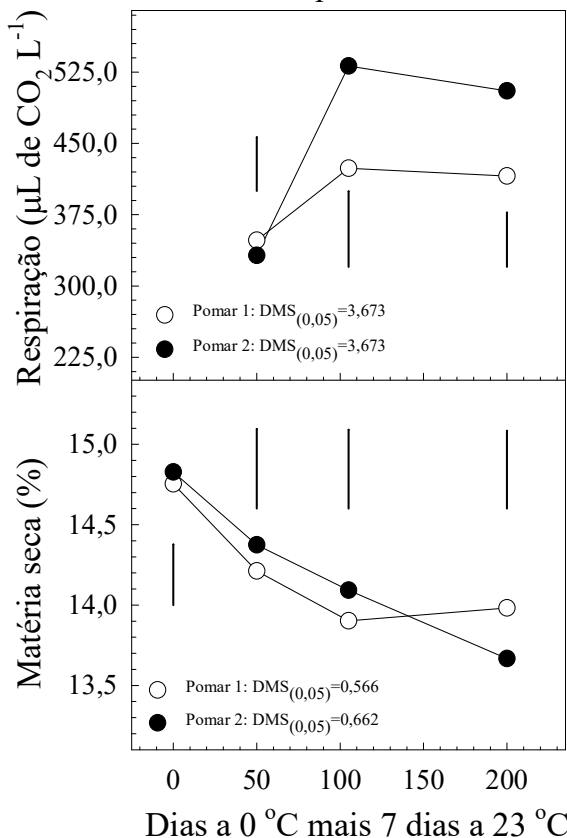
DMS representa a diferença mínima significativa ($p < 0,05$) entre períodos de armazenagem para cada pomar.

Barras verticais no interior de cada gráfico representam a diferença mínima significativa entre pomares, para cada período de armazenagem, por meio do Tukey significância de 5%.

A taxa respiratória de ambos os pomares foi similar aos 50 dias de armazenagem e, a partir deste período, aumentou e

decreceu até os 110 e 200 dias, respectivamente, sendo a tendência de aumento e redução mais acentuadas no pomar 2 (Figura 14).

Figura 14 - Conteúdo de matéria seca e respiração de maçãs ‘Gala’ durante a armazenagem sob refrigeração a 1 °C mais sete dias de prateleira a 23 °C.



Fonte: produção do próprio autor, 2016.

DMS representa a diferença mínima significativa ($p < 0,05$) entre períodos de armazenagem para cada pomar.

Barras verticais no interior de cada gráfico representam a diferença mínima significativa entre pomares, para cada período de armazenagem, por meio do Tukey significância de 5%.

O CMS decresceu durante a armazenagem em ambos os pomares com tendência de estabilização no pomar 1 após 105 dias. Todavia, não houve diferença entre pomares quanto ao CMS em cada data de análise (Figura 14). A variação de matéria seca durante a armazenagem depende da taxa de perda de água por transpiração e da atividade respiratória, sendo estes processos influenciados pela umidade relativa (UR), temperatura e pelas pressões parciais de gases na atmosfera de armazenagem (PERRING, 1989; McGLONE et al., 2003).

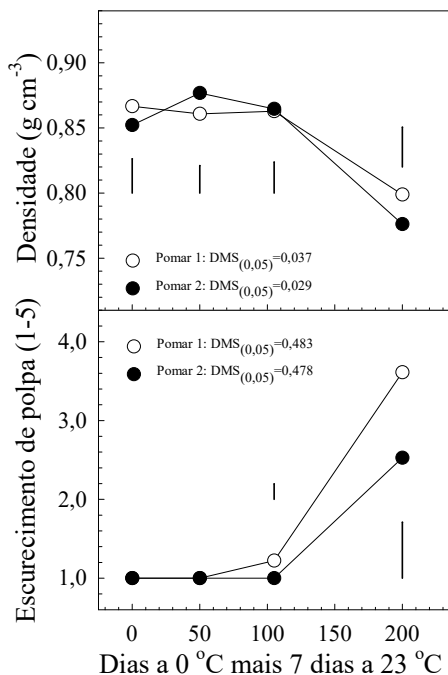
Não houve variação significativa da densidade dos frutos de ambos os pomares nas análises realizadas na colheita ou após 50 e 105 dias de armazenagem, porém, a densidade reduziu significativamente quando os frutos foram analisados após longos períodos de armazenagem (200 dias) (Figura 15), coincidindo com a redução da firmeza de polpa (Figura 12), do teor de SS, acidez titulável (Figura 13), da matéria seca (Figura 14) e com o aumento dos distúrbios escurecimento de polpa (Figura 15).

A degradação de componentes pécticos da parede celular pelo aumento da atividade da enzima pectinametilesterase (PME) (JOHNSTON; HEWETT; HERTOOG, 2002), a perda da adesão celular (HARKER e HALLETT, 1992) e o aumento do espaço intercelular (JOHNSTON; HEWETT; HERTOOG, 2002) foram associados ao amolecimento de maçãs durante a armazenagem e podem ser responsáveis pelas mudanças na densidade dos frutos, conforme previamente descrito por Jordan et al. (2000) em kiwi ‘Hayward’.

Sintomas de escurecimento de polpa foram observados nos frutos do pomar 1 a partir de 105 dias de armazenagem, ao passo, que, a manifestação do dano em frutos do pomar 2, assim como a máxima severidade em frutos do pomar 1, foram verificadas no final do período de armazenagem (Figura 15), quando os frutos apresentavam estágio avançado de deterioração, conforme evidenciado pela baixa firmeza de polpa (Figura 12) e AT (Figura 13), sendo estes resultados coerentes com aqueles

observados em estudos anteriores, os quais relacionam a manifestação do distúrbio ao envelhecimento dos frutos (ARGENTA et al., 2006; LEE, MATTHEIS; RUDELL, 2013). A incidência de frutos com rachadura senescente foi observada somente ao final do período de armazenagem, sendo a incidência ligeiramente superior no pomar 1 (14%) em relação ao pomar 2 (8%) (dados não apresentados).

Figura 15 - Densidade e severidade de escurecimento de polpa em maçãs ‘Gala’ durante a armazenagem sob refrigeração a 1 °C mais sete dias de prateleira a 23 °C.



Fonte: produção do próprio autor, 2016.

DMS representa a diferença mínima significativa ($p < 0,05$) entre períodos de armazenagem para cada pomar.

Barras verticais no interior de cada gráfico representam a diferença mínima significativa entre pomares, para cada período de armazenagem, por meio do Tukey significância de 5%.

O distúrbio fisiológico escurecimento de polpa se correlacionou negativamente com a firmeza de polpa (Tabela 13).

Tabela 13 - Coeficiente de correlação de *Pearson* entre os atributos físico-químico determinados durante a armazenagem com a severidade de escurecimento de polpa (1-5) de maçãs ‘Gala’ após armazenagem sob refrigeração a 1 °C mais sete dias de prateleira a 23 °C. (n = 180, para cada pomar).

Variável	Escurecimento de polpa (1-5)	
	Pomar 1	Pomar 2
Firmeza de polpa		
Penetrômetro - P1 (lb) ⁽¹⁾	-0,53 ^{***}	-0,59 ^{***}
Penetrômetro - P2 (lb) ⁽²⁾	-0,43 ^{***}	-0,46 ^{***}
Acústica (Aweta)	-0,60 ^{***}	-0,42 ^{***}
Sólidos solúveis (%)	-0,18 ^{ns}	-0,33 ^{**}
Acidez titulável (%)	-0,54 ^{***}	-0,52 ^{***}
Densidade (g/cm ³)	-0,42 ^{***}	-0,53 ^{***}
Matéria seca (%)	-0,05 ^{ns}	-0,26 ^{**}
Respiração (µL L ⁻¹)	0,39 ^{ns}	0,13 ^{ns}
Rachadura (1-2)	-0,38 ^{***}	-0,52 ^{***}

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

⁽¹⁾Profundidade 1 (P1). Região mais externa do córtex (~8mm de profundidade a partir da epiderme) onde tradicionalmente a firmeza é determinada;

⁽²⁾Profundidade 2 (P2). Camada mais interna do córtex (entre o limite final da P1 até a o início da zona carpelar).

Coeficiente de correlação não significativo (^{ns}) ou significativo a 5(*), 1(**) e 0,1%(***)

O índice de correlação variou com o pomar e com o método de determinação, sendo, entretanto, altamente significativo para todos os casos. Quando determinado com o penetrômetro, a relação foi maior na P1, independentemente de pomar (-0,53^{***} e -0,59^{***}, nos pomares 1 e 2, respectivamente).

Por outro lado, quando a firmeza foi analisada acusticamente, a relação foi maior no pomar 1 ($r = -0,60^{***}$), ao passo que, no pomar 2, a relação se assemelhou com aquela obtida pelo uso do penetrômetro na P2 ($r = -0,42^{***}$).

Tabela 14 - Coeficiente de correlação de *Pearson* entre os atributos físico-químico determinados durante a armazenagem com incidência de rachadura senescente (1-2) de maçãs ‘Gala’ após armazenagem sob refrigeração a 1 °C mais sete dias de prateleira a 23 °C. (n = 180, para cada pomar).

Variável	Rachadura senescente (1-2)	
	Pomar 1	Pomar 2
Firmeza de polpa		
Penetrômetro - P1 (lb) ⁽¹⁾	-0,21*	-0,35 ^{***}
Penetrômetro - P2 (lb) ⁽²⁾	-0,15 ^{ns}	-0,27 ^{**}
Acústica (Aweta)	-0,29 ^{**}	-0,26*
Sólidos solúveis (%)	-0,18 ^{ns}	-0,12 ^{ns}
Acidez titulável (%)	-0,10 ^{ns}	-0,17 ^{ns}
Densidade (g/cm ³)	-0,34 ^{***}	0,30 ^{**}
Matéria seca (%)	-0,06 ^{ns}	-0,16 ^{ns}
Respiração (μL L ⁻¹)	-	0,12 ^{ns}
Rachadura (1-2)	-	-

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

⁽¹⁾Profundidade 1 (P1). Região mais externa do córtex (~8mm de profundidade a partir da epiderme) onde tradicionalmente a firmeza é determinada; ⁽²⁾Profundidade 2 (P2). Camada mais interna do córtex (entre o limite final da P1 até a o início da zona carpelar).

Coeficiente de correlação não significativo (^{ns}) ou significativo a 5(*), 1(**) e 0,1%(^{***}).

O escurecimento de polpa inicia na região peduncular do fruto e, com o aumento da severidade, progride em direção à região calicinar (LEE, MATTHEIS, RUDELL, 2013). Durante

a progressão, a manifestação do distúrbio tende a concentrar inicialmente na região mais próxima da epiderme, coincidindo com a firmeza de polpa na P1, o que justificaria a maior relação entre a firmeza de polpa determinada nesta região com o distúrbio. Por outro lado, a maior relação entre o distúrbio e a P1 pode ser atrelada ao fato de que a incidência e severidade do distúrbio aumenta com a redução da firmeza de polpa (ARGENTA et al., 2006), a qual foi sempre menor na região mais próxima da epiderme.

A relação entre escurecimento de polpa com o teor de SS ou com o CMS foi baixa em ambos os pomares e significativa apenas para o pomar 2 (Tabela 13). Por outro lado, houve relação inversa altamente significativa entre a redução da AT durante armazenagem com o desenvolvimento de escurecimento de polpa, reforçando a associação do distúrbio com o envelhecimento dos frutos.

Não houve relação entre escurecimento de polpa e a taxa respiratória dos frutos (Tabela 13), sendo estes resultados coerentes com aqueles obtidos por Lee, Mattheis e Rudell (2013).

Houve relação entre escurecimento de polpa e rachadura senescente (Tabela 13). A incidência de rachadura foi significativamente correlacionada com a densidade, com a firmeza acústica, com a firmeza de polpa analisada com penetrômetro na P1, sendo este efeito observado em ambos os pomares (Tabela 14). No pomar 2, a firmeza de polpa na P2 também se correlacionou com o desenvolvimento de rachaduras. Todavia, a relação entre estas variáveis foi fraca (inferior 34%) em todas as casos.

3.5 CONCLUSÃO

As pequenas variações do conteúdo de matéria seca na colheita (CMS) e a ausência de relação consistente com a firmeza de polpa e incidência de desordens após armazenagem

indicam que este atributo não é adequado para estimar o estágio de maturação dos frutos na planta e nem para determinar o potencial de armazenagem dos frutos.

As relações do CMS na colheita com o teor de sólidos solúveis (SS) e acidez titulável (AT) sugerem que o CMS pode ser empregado como indicador pós-colheita da qualidade dos frutos.

O monitoramento da firmeza de polpa, principalmente na profundidade 1 (P1), seguida pela AT e pela densidade dos frutos durante a armazenagem pode ser empregada para determinar os riscos de perdas por escurecimento de polpa enquanto que as variações na incidência de rachadura são melhores explicadas pela densidade e pela firmeza de polpa acústica. Estudos futuros serão conduzidos visando identificar os valores mínimos destes atributos com o objetivo de definir o momento mais adequado para o processamento dos frutos com menores riscos de perdas pós-colheita por estes distúrbios.

4 RELAÇÃO ENTRE MATÉRIA SECA NA COLHEITA, REDUÇÃO RÁPIDA OU EM ETAPAS DA TEMPERATURA DE ARMAZENAGEM E A QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE MAÇÃS ‘HONEYCRISP’

4.1 RESUMO

O presente trabalho teve por objetivos avaliar o efeito da redução da temperatura (rápida ou em etapas) na indução ao dano por frio, avaliar as alterações da fluorescência da clorofila durante a primeira semana de armazenagem e relacionar o CMS na colheita com a qualidade pós-colheita de maçãs ‘Honeycrisp’ em duas condições de manejo da temperatura. Os frutos foram colhidos em nove pomares comerciais próximos a Wenatchee. Após a colheita os frutos foram divididos em três grupos de 72 frutos. Um grupo foi armazenado por quatro meses a 1 °C para avaliar a susceptibilidade dos pomares ao dano por frio. Os dois grupos restantes, sendo um deles tratado com 1-MCP ($1\mu\text{ L L}^{-1}$), foram armazenados por sete dias a 10 °C, seguido por 23 dias a 3 °C e 90 dias a 1 °C. Os frutos foram analisados na colheita e após armazenagem mais sete dias a 23 °C. A incidência de dano por frio em frutos armazenados diretamente a 1 °C variou de 0% a 96%, indicando variação de susceptibilidade entre pomares ao distúrbio. A redução gradativa da temperatura controlou, ou pelo menos reduziu, dependendo do pomar, a incidência de dano por frio. O tratamento com 1-MCP reduziu a taxa respiratória e de produção de etileno, mas não teve efeito sobre a conservação da firmeza de polpa e do teor de sólidos solúveis e não influenciou de modo consistente a incidência de dano por frio. A fluorescência da clorofila ($F\alpha$) aumentou em resposta a redução da temperatura, mas não foi alterada pela maior ou menor susceptibilidade dos pomares ao dano por frio. O conteúdo de matéria seca (CMS) na colheita se correlacionou com a firmeza de polpa ($r = 0,55$) e com o teor de SS ($r = 0,81$) após

armazenagem. Não foi observado sintomas de dano por frio em pomares com alto CMS (16,2%). Em contraste, o pomar com menor CMS (10,6%) apresentou quase a totalidade dos frutos com sintomas de dano por frio. Todavia, a relação entre CMS e dano por frio foi relativamente baixa, ($r = -0,41$). Os resultados do presente estudo ressaltam variação de susceptibilidade entre pomares ao dano por frio e a importância do condicionamento térmico para a redução do distúrbio. Os resultados também indicam possibilidade de uso do CMS como indicador da qualidade pós-colheita dos frutos, especialmente do teor de SS.

Palavras-chave: *Malus domestica*. Sólidos solúveis. *Soft scald*. *Soggy breakdown*.

4.2 INTRODUÇÃO

Maçãs ‘Honeycrisp’ são sensíveis ao distúrbio fisiológico *soft scald* (TONG et al., 2003; WALKINS et al., 2004; DeELL, 2005). Este distúrbio tem sido descrito como um dano por frio cujo sintoma caracteriza-se pela presença de lesões marrom de formato irregular sobre a epiderme, podendo se estender para a polpa dos frutos (WALKINS et al., 2005). Dependendo do manejo pós-colheita, o dano se manifesta após curtos períodos de armazenagem (TONG et al., 2003; WALKINS et al., 2005) e pode resultar na perda da totalidade dos frutos (DeELL, 2005).

A susceptibilidade de maçãs ‘Honeycrisp’ ao dano por frio varia com a região produtora, sendo menor em pomares localizados em Massachusetts e Michigan (TONG et al., 2003; WALKINS et al., 2004; 2005) e maior em Nova Iorque (WARGO; WALKINS, 2004; WALKINS et al., 2004; 2005), Nova Scotia (LACHAPPELLE et al., 2013) e Ontário (MORAN; DeELL; HALTEMAN, 2009). Um fator comum entre os locais é a variação da incidência e severidade do dano entre anos de produção (TONG et al., 2003; WARGO; WALKINS, 2004;

WALTKINS et al., 2004; 2005; MORAN; DeELL; HALTEMAN, 2009), indicando efeito do clima sobre a sensibilidade dos frutos. Segundo Moran, DeEll e Halteman (2009), clima ameno com verões chuvosos são favoráveis ao desenvolvimento do dano. De acordo estes autores, frutos com baixo teor de SS são mais susceptíveis ao distúrbio. Relação positiva entre o conteúdo de matéria seca (CMS) na colheita com o teor SS na colheita e/ou após armazenagem foram observadas em maçãs (WÜNSCHE; LAKSO, 2000; MCGLONE et al., 2003; PALMER et al., 2010), kiwi (VELEMIS; VASILAKAKIS; MANOLAKIS, 1997; CRISOSTO et al., 2012; FAMIANI et al., 2012), abacate (GAMBLE et al., 2010) e manga (PADDA et al., 2011). Estas observações sugerem que a determinação do CMS na colheita pode auxiliar na identificação de pomares quanto a susceptibilidade dos frutos ao desenvolvimento de *soft scald* durante a armazenagem.

A colheita tardia é comumente relacionada com o aumento da susceptibilidade de maçãs ‘Honeycrisp’ ao dano por frio (TONG et al., 2003; WALTKINS et al., 2004; 2005; DeELL, 2005). No entanto, a qualidade sensorial de maçãs ‘Honeycrisp’ é marcadamente reduzida nas colheitas precoces (DeELL, 2005).

A exposição dos frutos a temperatura inferior a 3 °C imediatamente após a colheita aumenta os riscos (DeLONG; PRANGE; HARRISON, 2004; WALTKINS et al., 2004; 2005), enquanto que, a redução gradativa da temperatura e a armazenagem a 3 ou 5 °C foram recomendadas por DeLong, Prange e Harrison (2004) e Waltkins et al. (2004; 2005) como alternativa para redução do distúrbio. Embora o condicionamento térmico e a armazenagem a temperatura de 3 °C não impactem negativamente a conservação da qualidade físico-química dos frutos (DeLONG; PRANGE; HARRISON, 2004), eles podem favorecer o desenvolvimento de *bitter pit* e/ou podridões (PERRING, 1986; WALTKINS et al., 2005). Assim, o condicionamento térmico é benéfico a prevenção de

soft scald e potencialmente prejudicial ao desenvolvimento de *bitter pit* e podridões.

O tratamento pós-colheita com o inibidor da ação do etileno 1-metilciclopropeno (1-MCP) retarda o amadurecimento dos frutos (BLANKENSHIP; DOLE, 2003) e controla, ou pelo menos reduz, o desenvolvimento de dano por frio em maçãs (FAN; MATTHEIS; BLANKENSHIP, 1999; AMARANTE et al., 2010), caqui (BRACKMANN et al., 2008; ARGENTA; VIEIRA; SCOLARO, 2009) e ameixa (ARGENTA et al., 2003), embora possa aumentar dano por frio em pêssego e nectarina (FAN; ARGENTA; MATTHEIS, 2002; LURIE; CRISOSTO, 2005). O efeito do 1-MCP sobre a redução do dano por frio em maçãs ‘Honeycrisp’ depende da época e forma de aplicação (DeELL e MURR, dados não publicados; citado em DeELL, 2005; DeELL; EHSANI-MOGHADDAM, 2010).

Estudos demonstraram que a susceptibilidade de frutos ao desenvolvimento de dano por frio pode ser determinada por meio do monitoramento das alterações fisiológicas do cloroplasto, expresso pela fluorescência da clorofila (SONG et al., 1997; MIR et al., 1998). Quando a clorofila é exposta a luz vermelha fraca após 30 minutos de escuro, a emissão de fluorescência é considerada mínima (F_0), enquanto que, a fluorescência é considerada máxima (F_m) quando a luz é aumentada para um nível de saturação (PRANGE; DeLONG; WRIGHT, 2010). A relação entre essas duas respostas é expressa pela variável fluorescência (F_v) a qual representa a relação entre o aumento da fluorescência do mínimo para o máximo [$F_v(F_m-F_0)/F_m$] (MIR et al., 1998). Alterações da fluorescência da clorofila podem ocorrer em resposta a estresses por baixa temperatura e/ou por baixa pressão parcial de O_2 ou alta de CO_2 (WALKER et al., 1990; PRANGE et al., 2002) e foi utilizada para a detecção de dano por frio em banana (SMILLIE et al., 1987 citado por MIR et al., 1998) e maçã (MIR et al., 1998; SONG et al., 1997).

No presente estudo, dois experimentos inter-relacionados foram conduzidos. O experimento 1 foi realizado com os objetivos de identificar variações entre pomares na susceptibilidade dos frutos ao dano por frio, avaliar se há alterações da fluorescência da clorofila durante o início da armazenagem e relacionar o CMS na colheita com incidência de distúrbios fisiológicos e podridões. O experimento 2 foi conduzido com os objetivos de avaliar o efeito da redução da temperatura em etapas e do CMS na colheita sobre a qualidade pós-colheita de maçãs ‘Honeycrisp’ tratadas ou não com 1-MCP.

4.3 MATERIAL E MÉTODOS

Maçãs ‘Honeycrisp’ foram colhidas durante o período de colheita comercial em nove pomares localizados próximos à Wenatchee/WA/EUA, em 2014. Os frutos foram colhidos por trabalhadores rurais e transportados ao laboratório em *bins* (caixas industriais com aproximadamente 350 kg de maçãs). A amostragem dos frutos foi realizada no dia seguinte a colheita evitando-se os frutos com defeitos (dano mecânico, rachadura peduncular, lesão expondo a polpa, deformação e podridão).

4.3.1 Experimento 1 – Refrigeração rápida em temperatura de indução ao dano por frio (1°C)

Os frutos de cada um dos pomares (9) foram aleatoriamente distribuídos em quatro amostras de 18 frutos e, em seguida, armazenados a $1,0 \pm 0,5$ °C (temperatura de indução de danos por frio).

A fluorescência da clorofila (F_0) foi monitorada por meio do sistema *HarvestWatch*TM (Satlantic Inc., Halifax, NS). Para esta determinação, os frutos de cada um dos pomares foram divididos em três repetições de seis frutos e, então, acondicionadas em caixas plásticas perfuradas (18 cm de

largura, 27 cm de comprimento e 25 cm de altura) equipadas com um sensor de detecção da F α . A caixa plástica foi colocada em minicâmaras experimentais de 0,14 m³, fabricadas em aço e vedadas com porta de plástico. A porta foi coberta com folhas de alumínio para impedir a entrada de luz. A F α foi medida em intervalos de 15 minutos por até cinco dias, dependendo do pomar.

Os frutos foram analisados quanto a incidência de distúrbio fisiológicos e podridões após quatro meses a 1,0 \pm 0,5 °C mais sete dias a 23 °C.

4.3.2 Experimento 2 – Refrigeração lenta, em etapas, a 1°C

Em até um dia após a colheita, os frutos de cada um dos pomares (9) foram divididos em dois grupos, sendo cada grupo constituído por quatro amostras de 18 frutos. Um grupo foi tratado com 1 μ L L⁻¹ de 1-MCP (1-metilciclopropeno) em câmara hermética, por 16 horas, sob temperatura ambiente. O gás 1-MCP foi gerado misturando-se SmartFreshTM (3.8% i.a., AgroFresh Inc., PA, USA) e água num frasco de 200 mL e, então, bombeado em sistema fechado por aproximadamente 15 minutos por meio de uma bomba de vácuo e pressão acoplada por mangueiras com o frasco (onde o 1-MCP foi gerado) e com a câmara de tratamento. As concentrações de 1-MCP durante o período de tratamento foram determinadas por cromatografia gasosa, usando-se o gás 1-MCP (AgroFresh Inc., PA, USA) como padrão. O segundo grupo permaneceu sob as mesmas condições, porém sem receber o tratamento com 1-MCP, servindo como controle.

No dia seguinte ao tratamento com 1-MCP, os frutos foram refrigerados a 10,0 \pm 0,5 °C e mantidos nessa temperatura por sete dias. A temperatura de armazenagem foi reduzida para 3,0 \pm 0,5 °C no 7º dia e para 1,0 \pm 0,5 °C no 30º dia de armazenagem. Depois de quatro meses de armazenagem, incluindo o período de condicionamento térmico, os frutos

foram removidos do ambiente refrigerados, mantidos por sete dias a $23,0 \pm 0,5$ °C e, então, analisados quanto à qualidade e incidência de distúrbios fisiológicos e podridões.

4.3.3 Análise da qualidade (experimentos 1 e 2)

Na colheita, os frutos foram analisados quanto a massa fresca, firmeza de polpa, teor de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), índice de amido (IA), cor de fundo, concentração interna de etileno (CIE), conteúdo de matéria seca (CMS) e incidência de *bitter pit*. Após a armazenagem, os frutos foram analisados quanto a incidência de podridões e de distúrbios fisiológicos (*soft scald*, *soggy breakdown*, *bitter pit* e escurecimento de polpa). Adicionalmente, frutos do experimento 2 foram analisados após a armazenagem quanto a taxa de produção de etileno, taxa respiratória, firmeza de polpa, teor de SS, AT.

A massa fresca dos frutos foi determinada por meio de balança analítica. A cor de fundo foi determinada na região menos exposta ao sol e menos avermelhada da superfície dos frutos usando-se um colorímetro (Minolta, CR300 Chroma meter, Konica Minolta, Tokyo) e os resultados expressos como ângulo *hue*. A firmeza de polpa foi medida em dois lados opostos da superfície de cada fruto, onde previamente a epiderme foi removida, pela utilização de penetrômetro eletrônico, com ponteira de 11 mm (Mohr Digi-Test; Mohr and Associates, Richland, WA). Uma fatia longitudinal em formato de cunha, incluindo polpa e casca, foi removida de cada fruto e fatias de dois frutos foram combinadas para preparar uma amostra de suco por meio de um espremedor centrífugo (Champion, Plastaket Mfg. USA), sendo o teor de SS e a AT determinados em cada amostra. O teor de SS foi determinado utilizando-se um refratômetro. A AT foi determinada pela titulação de 5 mL de suco com hidróxido de potássio (KOH; 0,1 N) até pH 8,2, usando um titulador automático (Radiometer

Analytical, França). O índice de degradação do amido foi estimado visualmente por meio de uma escala de 1 (100% da superfície com amido) a 6 (0% da superfície com amido) depois de expor uma secção equatorial de cada fruto a solução de iodeto de potássio (I_2+KI). A CIE foi determinado a partir de uma amostra de gás (0,5 mL) retirada com auxílio de uma seringa hipodérmica da cavidade carpelar dos frutos. Para a determinação da taxa de produção de etileno e de CO_2 (taxa respiratória), quatro repetições de três ou quatro frutos (~1,0 kg) foram mantidos em jarras de vidro (~3,8 L) fechadas com tampa de *teflon* com dois orifícios (septos). Uma mangueira foi acoplada em um dos septos e ar comprimido, livre de etileno, foi introduzido na jarra (100 mL min^{-1}). Após uma hora, amostras de gás foram coletadas com auxílio de uma seringa hipodérmica do interior da jarra, a partir do septo de saída de ar, para a determinação da taxa de produção de etileno (0,5 mL) e CO_2 (1,5 mL). As amostras foram injetadas em um cromatógrafo a gás (HP 5980, Agilent Technologies, Palo Alto, CA) equipado com metanador, detector de ionização de chama e coluna de vidro de 46 cm (comprimento) x 0,32 cm (diâmetro) contendo Paropak Q (Supelco Co. Bellefonte, PA). As temperaturas do forno, injetor e detector foram de 60, 100 e 200 °C, respectivamente. Os fluxos de N_2 , H_2 e ar foram de 0,5, 0,17 e 3,3 mL s^{-1} , respectivamente. Uma fatia longitudinal em formato de cunha, incluindo polpa e casca e excluindo a região do carpelo e sementes, foi amostrada de cada fruto e fatias de dois frutos foram combinadas para a determinação do CMS. As secções longitudinais foram pesadas para determinar a massa fresca, colocadas em estufa a 70 °C por pelo menos 48 horas e, então, pesadas novamente para determinação da massa seca. O CMS de cada amostra foi determinado pela relação entre a massa seca e a massa fresca, sendo os resultados expressos em percentual. A incidência de podridões e distúrbios fisiológicos foram analisadas visualmente atribuindo se notas: 1. Ausente; 2. Presente.

4.3.4 Delineamento experimental e análises estatísticas (experimentos 1 e 2)

Os experimentos foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizados. No experimento 2, foi utilizado um esquema fatorial 9 x 2, obtido da combinação de nove níveis do fator pomar e dois níveis do fator 1-MCP (controle e 1-MCP).

A qualidade dos frutos na colheita foi determinada em uma amostra de 18 frutos, exceto para o teor de SS, AT e CMS, para os quais foram utilizadas nove repetições provenientes da combinação de amostras de dois frutos e para a determinação da CIE, a qual foi determinada na colheita em dez frutos. A taxa de produção de etileno e de CO₂ (respiração) foi determinada em quatro repetições composta por três ou quatro frutos (~1 kg por repetição). A incidência de distúrbios fisiológicos e podridões foram determinadas após a armazenagem para todos os frutos (72) de cada pomar.

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) para determinar a significância dos fatores principais e, quando aplicável, das interações. Quando o número de graus de liberdade dos tratamentos foi superior a um, as diferenças foram determinadas por meio do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade e, quando igual a um, determinadas por meio do teste F da ANOVA ao nível de 5% de probabilidade. As relações entre o conteúdo de matéria seca na colheita com os atributos de maturação/qualidade na colheita bem como com a qualidade e a incidência de distúrbios fisiológicos e podridões após armazenagem foram determinadas por meio da análise de correlação de *Pearson* ou *Spearman*.

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.4.1 Maturação e qualidade dos frutos na colheita (experimentos 1 e 2)

A massa fresca dos frutos foi superior nos pomares 1, 2, 4 e 8 e inferior no pomar 6, enquanto que, valores intermediários foram encontrados nos demais pomares (Tabela 15).

Tabela 15 - Massa fresca, concentração interna de etileno (CIE), firmeza de polpa, índice de amido (IA) e cor de fundo da epiderme (*hue*) de maçãs ‘Honeycrisp’ na colheita.

Pomar	Massa fresca (g)	CIE ($\mu\text{L L}^{-1}$)	Firmeza de polpa (lb)	IA (1-6)	<i>hue</i>
1	276,2 a ⁽¹⁾	18,3 b	12,6 b	5,2 c	103,2 a
2	280,6 a	3,4 b	13,8 a	3,3 d	85,9 bc
3	245,9 ab	21,6 b	12,5 b	5,4 bc	98,9 ab
4	273,2 a	21,2 b	13,9 a	5,7 ab	78,5 c
5	219,6 bc	65,2 a	13,8 a	6,0 a	95,6 ab
6	189,6 c	0,6 b	12,3 b	5,9 ab	106,0 a
7	249,6 ab	33,2 ab	11,9 b	6,0 a	96,6 ab
8	280,7 a	28,0 b	14,1 a	5,5 abc	79,5 c
9	246,7 ab	17,7 b	12,3 b	5,8 ab	104,9 a
Média	253,9	23,3	13,0	5,3	94,3
D. padrão	48,6	28,4	1,3	1,0	1,7

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

⁽¹⁾Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0.05$).

A concentração interna de etileno (CIE) variou expressivamente entre os pomares e não foi associada às variações da firmeza da polpa, índice de amido (IA), teor de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT) e cor de fundo (Tabela 15 e 16), sendo estes resultados coerentes com àqueles obtidos em estudos anteriores (WARGO; WATKINS, 2004; WATKINS et al., 2005), os quais indicam que a evolução dos atributos de maturação de maçãs ‘Honeycrisp’ não são consistentemente associada com o aumento do CIE dos frutos, o que torna limitado o uso desta medida na determinação do estágio de maturação dos frutos.

O IA e a cor de fundo tem sido os atributos de maturação mais empregados para a determinação do ponto de colheita de maçãs 'Honeycrisp'. Quando destinadas para longos períodos de armazenagem, maçãs 'Honeycrisp' devem apresentar IA entre 6 (WATKINS et al., 2005) e 7 (WARGO; WATKINS, 2004) (Escala de 1 a 8; Cornell) e a cor de fundo mudando do verde para o amarelo (DeELL, 2005). Valores entre 6 e 8 na tabela de Cornell correspondem aos valores entre 5 e 6 da tabela utilizada no presente estudo. Já valores de IA próximos a 3, como aquele obtido no pomar 2, corresponde a um valor entre 4 e 5 na tabela de Cornell. A exceção do pomar 2, o qual apresentou significativamente menor IA (3,3; Escala 1-6), os frutos dos demais pomares analisados apresentaram IA variando entre 5 a 6 (Tabela 15), indicando que eles foram colhidos em estágio de maturação ideal para médio a longo período de armazenagem. Incluindo a determinação da cor de fundo, expressa por meio do ângulo *hue*, como medida complementar ao IA, observou-se que os pomares 4 e 8 apresentaram a coloração de fundo mais amarelada, conforme evidenciada pelos menores valores de *hue*, indicando estágio de maturação adiantado em relação aos demais pomares. De acordo com o ângulo *hue*, estágio de maturação menos adiantado foi observado nos pomares 1, 6 e 9.

Dois grupos de pomares foram identificados quanto a firmeza de polpa; aqueles com firmeza de polpa entre 13,8 e 14,1 lb (pomares 2, 4, 5 e 8) e aqueles entre 11,9 e 12,6 lb (pomares 1, 3, 6, 7 e 9) (Tabela 15). O teor de sólidos solúveis (SS) foi significativamente superior no pomar 8 (15,0%) e inferior no pomar 6 (10,7%) e variou entre 11,4 e 13,6% nos demais pomares (Tabela 16). A acidez titulável (AT) foi superior no pomar 8 (0,567%), sendo este índice similar ao obtido no pomar 2 (0,564%), e inferior nos pomares 5 (0,367%) e 7 (0,356%). Embora a firmeza de polpa e o teor de sólidos solúveis não sejam atributos de qualidade essenciais para a determinação do ponto de colheita de maçãs 'Honeycrisp', a qualidade dos frutos após a armazenagem pode ser inferior quando os frutos são colhidos

com firmeza de polpa e teor de SS inferiores a 13,5 lb e 13,0%, respectivamente (WARGO; WATKINS, 2004).

O conteúdo de matéria seca (CMS) foi maior no pomar 8 (16,2%) seguido pelos pomares 1 a 5 (variação de 13,8 e 14,2%) e pelos pomares 6, 7 e 9 (variação de 10,8 a 12,2%), sendo significativamente inferior no pomar 6 (Tabela 16). As variações de CMS entre pomares permitiram determinar a relação entre esta variável e a qualidade dos frutos na colheita e/ou após armazenagem.

Tabela 16 - Teor de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), conteúdo de matéria seca (CMS) e incidência de *bitter pit* em maçãs 'Honeycrisp' na colheita.

Pomar	SS (%)	AT (%)	CMS (%)	<i>Bitter pit</i> (1-2)
1	12,9 cd	0,500 bc	13,9 b	1,00 a
2	12,5 d	0,564 ab	14,2 b	1,00 a
3	12,8 d	0,500 bc	13,8 b	1,00 a
4	13,6 b	0,411 de	13,8 b	1,00 a
5	13,5 bc	0,367 e	14,2 b	1,06 a
6	10,7 f	0,456 cd	10,8 d	1,00 a
7	11,8 e	0,356 e	12,4 c	1,00 a
8	15,0 a	0,567 a	16,2 a	1,11 a
9	11,4 e	0,411 de	12,2 c	1,06 a
Média	12,7	0,469	13,5	1,01
D. padrão	1,3	0,086	1,6	0,09

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

⁽¹⁾Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0.05$).

Nas análises realizadas na colheita, o CMS se correlacionou positivamente com a massa fresca, firmeza de polpa, teor de SS, AT e com a incidência de *bitter pit* e negativamente com o IA (Tabela 17).

A correlação entre a massa dos frutos com o CMS observada no presente estudo também foi descrita para kiwi (WOODWARD; CLEARWATER, 2008) e maçãs (SAEI et al.,

2011). A correlação entre o CMS e o teor de SS é amplamente documentada na literatura para maçãs (WÜNSCHE; LAKSO, 2000; McGLONE et al., 2003; PALMER et al., 2010), kiwi (VELEMIS; VASILAKAKIS; MANOLAKIS, 1997; JORDAN et al., 2000; CRISOSTO et al., 2012), abacate (GAMBLE et al., 2010) e a manga (PADDA et al., 2011). A associação entre CMS e AT na colheita observadas no presente estudo coincide com resultados reportados por Palmer et al. (2010) em maçãs ‘Royal Gala’ e ‘Scifresh’ e por Famiani et al. (2012) em kiwi ‘Hayward’. Estas observações sugerem que o CMS na colheita pode ser empregado como um indicador da qualidade sensorial dos frutos (PALMER et al., 2010; FAMIANI et al., 2012). Embora menos documentada, a relação entre CMS e firmeza de polpa na colheita foi reportada por Palmer et al. (2010) em maçãs ‘Scifresh’; todavia, estes autores não verificaram relação entre estas variáveis em maçãs ‘Royal Gala’, indicando que o efeito pode ser dependente da cultivar. A maior relação do CMS com o teor de SS, comparativamente a firmeza de polpa e AT, pode ser atribuída ao fato de que a maior parte (65 a 80 %) da composição do CMS é formado por açúcares não estruturais enquanto cerca de 11 a 17% do CMS é formado por hemicelulose, pectinas e celulose (SALO; KORHONEN, 1972).

Tabela 17 - Coeficiente de correlação de *Pearson* do conteúdo de matéria seca (CMS) com a massa fresca (MF), firmeza de polpa (FP), Teor de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), índice de amido (IA) e incidência de *bitter pit* (BP) de maçãs ‘Honeycrisp’ na colheita.

Variável	CMS (%)	MF (g)	FP (lb)	SS (%)	AT (%)	IA (1-6)
MS (g)	0,35**					
FP (lb)	0,48**	0,05 ^{ns}				
SS (%)	0,87***	0,27**	0,47***			
AT (%)	0,45***	0,25*	0,31**	0,27**		
IA (1-6)	-0,23*	-0,30***	-0,22*	-0,02 ^{ns}	-0,56***	
BP (1-2)	0,24*	0,10 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,20*	-0,00 ^{ns}	0,09 ^{ns}

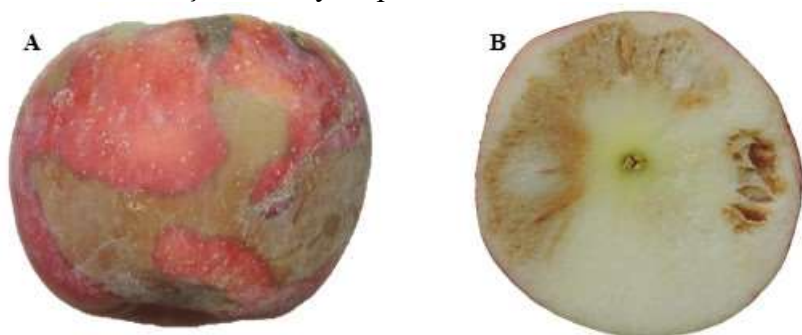
Fonte: Produção do próprio autor. 2016.

Coeficiente de correlação não significativo (ns) ou significativo a 5(*), 1(**) ou 0,1% (***)

4.4.2 Experimento 1 - Refrigeração rápida em temperatura de indução ao dano por frio (1°C)

Soft scald e *soggy breakdown* foram os distúrbios fisiológicos mais frequentes após armazenagem, com incidência média de 30 e 32%, respectivamente (média dos nove pomares) (Tabela 18). Ambos os distúrbios são considerados dano por frio e a incidência é favorecida quando os frutos são armazenados a temperaturas inferiores a 3,0 °C imediatamente após a colheita (WATKINS et al., 2004; 2005; DeELL, 2005; DeLONG et al., 2006). *Soft scald* caracteriza-se por lesões de formatos irregular e coloração marrom sobre a epiderme, podendo se estender para a polpa dos frutos (Figura 16) enquanto *soggy breakdown* é um distúrbio interno na polpa dos frutos, com textura esponjosa e de coloração marrom (WATKINS et al., 2004; 2005).

Figura 16 - Sintoma de *soft scald* (A) e *soggy breakdown* (B) em maçãs 'Honeycrisp'.



Fonte: produção do próprio autor, 2016.

A incidência destes distúrbios variou com o pomar, sendo menor nos pomares 2, 4, 5 e 7 (entre 4 e 11%), maior nos pomares 1, 3, 6 e 9 (entre 40 e 96%) e ausente no pomar 8, indicando variação de susceptibilidade entre os pomares estudados (Tabela 18). De maneira geral, frutos com sintomas de *soft scald* também apresentaram *soggy breakdown*, refletindo no alto grau de associação entre estas variáveis (75%) (Tabela 19). Em função da alta relação entre estas duas variáveis e da similaridade de resultados quando ambas foram correlacionadas com os atributos de qualidade determinados na colheita, somente as relações envolvendo o distúrbio *soft scald* são apresentadas.

Tabela 18 - Incidência de *soft scald* (SSC), *soggy breakdown* (SB), *bitter pit* (BP), escurecimento de polpa (EP) e podridões de maçãs ‘Honeycrisp’ após armazenagem. Os frutos foram refrigerados a 1 °C em 24 horas após a colheita e analisados após quatro meses de armazenagem mais sete dias de prateleira a 23 °C.

Pomar	SSC (1-2)	SB (1-2)	BP (1-2)	EP (1-2)	Podridão (1-2)
1	1,40 b	1,69 ab	1,00 b	1,01 b	1,32 b
2	1,10 c	1,06 d	1,03 ab	1,00 b	1,06 c
3	1,60 b	1,47 c	1,00 b	1,00 b	1,44 b
4	1,03 c	1,01 d	1,01 ab	1,00 b	1,00 c
5	1,11 c	1,10 d	1,00 b	1,22 a	1,04 c
6	1,96 a	1,88 a	1,00 b	1,00 b	1,74 a
7	1,04 c	1,04 d	1,00 b	1,00 b	1,06 c
8	1,00 c	1,00 d	1,06 a	1,17 a	1,68 a
9	1,47 b	1,60 bc	1,00 b	1,02 b	1,29 b
Média	1,30	1,32	1,01	1,05	1,29
D. padrão	0,33	0,35	0,02	0,39	0,28

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

⁽¹⁾Incidência de distúrbio fisiológicos ou podridões: 1. Ausência; 2. Presença.

⁽²⁾Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si por meio do teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

A incidência de podridões variou significativamente entre pomares (Tabela 18). Com exceção do pomar 8, pomares com alta incidência de podridões também apresentaram dano por frio (Tabelas 18 e 19), sendo a associação entre estas variáveis coincidentes com resultados obtidos em estudos anteriores (DeELL, 2005; WATKINS et al., 2005). Acredita-se que o enfraquecimento dos tecidos pelo desenvolvimento de dano por frio favoreça a infecção por fungos causadores de podridões em pós-colheita, tais como *Alternaria* e *Cladosporium* (DeELL, 2005).

Quando ocorreu *bitter pit* (pomares 2, 5 e 8), a presença de frutos com sintomas foi inferior a 6% (Tabela 18), sugerindo menor susceptibilidade dos pomares estudados ao distúrbio e/ou

efeito da redução rápida da temperatura após a colheita sobre a inibição da indução do dano (PERRING, 1986; WATKINS et al., 2004). Incidência significativa de escurecimento de polpa foi observada somente nos pomares 5 (22%) e 8 (17%). Nos demais pomares, não houve manifestação de dano ou a incidência foi inferior a 2%.

Não houve associação entre CIE na colheita com a incidência de dano por frio (Tabela 19), confirmando resultado obtidos por Tong et al. (2003) e Watkins et al. (2005), os quais observaram aumento da susceptibilidade ao dano por frio com o atraso da colheita, mas ausência de relação com a CIE. A correlação entre a incidência do dano por frio com os demais atributos de maturação foi positiva para o IA ($r = 0,14^*$) e negativa para o ângulo *hue* ($r = -0,38^{***}$), o que indica, respectivamente, que a susceptibilidade dos frutos aumenta e diminui com o avanço da maturação dos frutos. A associação contraditória entre estes dois atributos com a ocorrência de dano por frio reflete a dificuldade do uso destes atributos isoladamente na determinação do estágio de maturação dos frutos desta cultivar. Houve relação inversa significativa entre a firmeza de polpa na colheita com a incidência de *soft scald* após armazenagem, todavia a relação foi baixa ($r = -0,22^{**}$). A menor relação entre estas variáveis possivelmente está associada com a pequena variação deste atributo entre pomares na colheita (WARGO; WATKINS, 2004; DeELL et al., 2010).

Confirmando resultados obtidos em estudo anterior (MORAN, DeELL e HALTEMAN (2009), a susceptibilidade dos pomares ao dano por frio reduziu com o aumento do teor de SS, contudo, assim como observado para a firmeza de polpa, apenas uma pequena parte da variação (33%) pôde ser explicada pelo teor de SS na colheita (Tabela 19).

A determinação do CMS na colheita foi a variável que melhor se correlacionou com a incidência de *soft scald* ($r = -0,41^{**}$) (Tabela 19). Apesar de significativa, o baixo índice de correlação pode ser exemplificado pela análise dos pomares 1 a

5, os quais apresentaram uma pequena variação no CMS (13,8 a 14,2%) (Tabela 16) e uma expressiva variação na incidência de *soft scald* (3 a 60%) (Tabela 18).

O fato de frutos provenientes de pomares com alto CMS na colheita não apresentarem sintomas de *soft scald* (pomar 8) pode ser associado, pelo menos em parte, a um efeito indireto da presença de frutos com sintomas de *bitter pit* na colheita (Tabela 16). A observação de que frutos que desenvolvem *bitter pit* normalmente não apresentam *soft scald* foi reportada por Tong et al. (2003). De acordo com Freitas et al. (2010), o CMS de maçãs ‘Granny Smith’ foi ligeiramente superior (0,6%), após 60 dias de armazenagem a 0 °C, em frutos com sintomas de *bitter pit*, sendo o efeito associado aos processos envolvidos com a manifestação do distúrbio (plasmólise e perda da integridade de membranas), os quais favorecem a perda de água e concentração da matéria seca. De maneira geral, o efeito do *bitter pit* sobre o aumento da concentração da matéria seca pode ser intensificado com o aumento do número de manchas por fruto (Capítulo 4, Figura 23). DeLong, Prange e Harrison (2004) sugeriram efeito sinérgico entre etileno e perda de água sobre a redução da susceptibilidade dos frutos ao dano por frio. Estes autores observaram maior perda de água por transpiração (1,18 a 1,28%) e ausência de dano por frio em maçãs ‘Honeycrisp’ submetidas ao condicionamento térmico após a colheita (20 °C por sete dias antes da armazenagem a 3 ou 5 °C). Portanto, a perda de água, seja pelo procedimento de condicionamento térmico ou induzida pela presença de *bitter pit* pode desempenhar papel importante na redução do dano por frio em maçãs ‘Honeycrisp’. Por outro lado, o maior CMS em frutos do pomar 8 e menor em frutos do pomar 6 também podem ser associados as diferenças de tamanho (massa fresca) entre frutos destes dois pomares (Tabela 16) e da relação positiva entre massa fresca e CMS na colheita (Tabela 17).

Tabela 19 - Índice de correlação entre os atributos de maturação/qualidade na colheita ou após armazenagem com a incidência de *soft scald* em maçãs ‘Honeycrisp’ após armazenagem. Os frutos foram colhidos em 2014 em nove pomares comerciais. Os frutos foram analisados na colheita e após quatro meses a 1 °C mais sete dias a 23 °C.

Período de análise	Variável	<i>Soft scald</i> (1-2)
Na colheita ⁽¹⁾	CMS (%)	-0,41**
	CIE ($\mu\text{L L}^{-1}$)	-0,15 ^{ns}
	Massa fresca (g)	-0,26**
	Firmeza de polpa (lb)	-0,21**
	Teor de SS (%)	-0,33**
	AT (%)	0,08 ^{ns}
	Hue	-0,38***
	IA (1-6)	0,14*
Após armazenagem ⁽²⁾	<i>Soggy breakdown</i> (1-2)	0,75***
	Escurecimento de polpa (1-2)	-0,08 ^{ns}
	Podridões (1-2)	0,55***

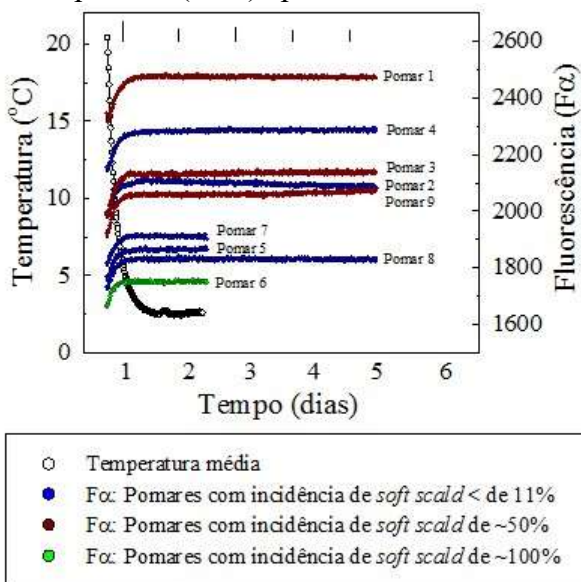
Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

⁽¹⁾Análise de correlação de *Pearson*. ⁽²⁾Análise de correlação de *Spearman*. Coeficiente de correlação não significativo (ns) ou significativo a 5(*), 1(**) ou 0,1% (***)

Embora significativa, a relação entre a massa fresca dos frutos (tamanho) com a incidência de dano por frio foi fraca (Tabela 19). Estes resultados são contrários àqueles obtidos em estudos anteriores, os quais indicaram que frutos de maior tamanho são mais sensíveis ao dano (DeELL, 2005). Embora a susceptibilidade de maçãs ‘Honeycrisp’ ao desenvolvimento de dano por frio seja maior em frutos de maior tamanho e/ou colhidos em estágio avançado de maturação, os dados do presente estudo indicam que os efeitos de pomar podem ser superiores aos efeitos de estágio de maturação, tamanho dos frutos e do CMS.

O comportamento da fluorescência da clorofila (F_a) foi similar para todos os pomares ao longo do período de monitoramento (Figura 17). A F_a aumentou durante o período redução da temperatura. Esse aumento da F_a em resposta a redução da temperatura foi o mesmo para todos os pomares. No entanto, os valores absolutos de F_a variaram entre pomares e não se correlacionaram com a incidência de *soft scald*, embora, o menor valor de F_a foi verificado no pomar que apresentou a maior incidência de *soft scald*.

Figura 17 - Fluorescência da clorofila em maçãs ‘Honeycrisp’ armazenados em temperatura de indução do dano por frio ($1\text{ }^{\circ}\text{C}$) após a colheita.



Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Barras verticais no interior do gráfico indicam a diferença mínima significativa determinadas pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Em maçãs ‘Starking Delicious’, Song et al. (1997) observaram menor incidência de escaldadura superficial em

frutos que apresentavam menor fluorescência da clorofila (Fv/Fm) durante os seis primeiros dias de armazenagem após a colheita. Utilizando cultivares susceptíveis ('Corland' e 'Redchief Delicious') ou não susceptíveis ('Empire') a escaldadura superficial (dano por frio), Mir et al. (1998) notaram que a fluorescência da clorofila decresceu ao longo da armazenagem somente nas cultivares susceptíveis ao distúrbio, sendo este decréscimo coincidente com a manifestação dos sintomas do distúrbio.

4.4.3 Experimento 2 - Refrigeração lenta, em etapas, a 1°C

A taxa respiratória e de produção de etileno variaram entre os pomares e foram significativamente reduzidas pelo tratamento com 1-MCP após armazenagem (Tabela 20). Exceções foram observadas no pomar 4 e 8 para a respiração e no pomar 8 para a produção de etileno. Considerando os valores médios dos nove pomares, a redução da taxa respiratória e de produção de etileno pelo tratamento com 1-MCP foi de aproximadamente 32 e 69%, respectivamente. Apesar desta redução, o tratamento com 1-MCP não proporcionou aumento da conservação da firmeza de polpa e do teor de SS (Tabela 21), embora, dependendo do pomar, aumentou a conservação da AT e retardou o amarelecimento da epiderme (Tabela 22).

A maioria das cultivares de maçãs exibem similaridade de respostas ao 1-MCP, o que inclui a redução da produção de etileno e da respiração e conservação da firmeza de polpa, acidez titulável e retardô do amarelecimento da epiderme (FAN; MATTHEIS; BLANKENSHIP, 1999; ARGENTA; FAN; MATTHEIS, 2005; WALKINS, 2008). Todavia, as repostas do 1-MCP podem variar com a espécie, cultivar, estágio de maturação, dose e intervalo entre a colheita e aplicação do produto (ARGENTA; FAN; MATTHEIS, 2005; WATKINS, 2008).

Tabela 20 - Taxa respiratória e de produção de etileno de maçãs ‘Honeycrisp’. Um dia após a colheita, os frutos foram tratados ou não com o gás 1-MCP ($1 \mu\text{L L}^{-1}$) e, então, armazenados por sete dias a 10°C , seguidos por 23 dias a 3°C e 90 dias a 1°C . Os frutos foram analisados após quatro meses de armazenagem mais sete dias a 23°C .

Pomar	Respiração ($\mu\text{mol de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$)		Etileno ($\mu\text{mol kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$)	
	Controle	1-MCP	Controle	1-MCP
1	292,7 Aab	137,2 Bc	1,79 Abcd	0,27 Bbc
2	232,5 Ab	136,5 Bbc	1,17 Ad	0,24 Bbc
3	278,4 Aab	150,9 Bbc	2,48 Aab	0,56 Babc
4	267,4 Aab	217,2 Aab	1,18 Ad	0,45 Bbc
5	308,4 Aa	216,9 Bab	2,09 Abc	1,13 Ba
6	189,4 Ab	112,8 Bc	1,30 Acd	0,06 Bc
7	320,8 Aa	239,6 Ba	1,93 Abcd	1,20 Bbc
8	270,7 Aab	239,3 Aa	1,60 Acd	0,80 Aab
9	300,9 Aab	194,7 Babc	2,95 Aa	0,27 Bbc
<i>Média</i>	<i>273,1 A</i>	<i>185,3 B</i>	<i>1,85 A</i>	<i>0,57 B</i>
<i>D. padrão</i>	<i>56,1</i>	<i>54,0</i>	<i>0,66</i>	<i>0,45</i>
Efeito	Significância			
Pomar (P)	<0,0001		<0,0001	
1-MCP (M)	<0,0001		<0,0001	
P x M	0,2445		<0,0001	

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

⁽¹⁾Letra minúscula na coluna compara efeito de pomar dentro de cada tratamento por meio do teste de Tukey, Letra maiúscula na linha compara efeito de tratamento (Controle e 1-MCP) dentro de cada pomar por meio do teste F da análise da variância. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si ao nível de significância de 5%.

Ao contrário de outras cultivares de maçãs, como ‘Royal Gala’, que apresentam elevada taxa de perda de firmeza de polpa durante a armazenagem (SAEI et al., 2011), a firmeza de polpa de maçãs ‘Honeycrisp’ muda pouco durante a armazenagem (TONG et al., 2003). Portanto, a ausência de resposta do 1-MCP sobre o aumento da conservação da firmeza de polpa em maçãs ‘Honeycrisp’ pode estar relacionado com as pequenas mudanças

deste atributo durante armazenagem ou, alternativamente, possíveis incrementos de firmeza de polpa pelo 1-MCP são difíceis de serem detectados devido a menor variação deste atributo durante a armazenagem (DeELL, 2005; DeELL et al., 2016).

Tabela 21 - Firmeza de polpa e teor de sólidos solúveis (SS), de maçãs ‘Honeycrisp’. Um dia após a colheita, os frutos foram tratados ou não com o gás 1-MCP ($1 \mu\text{L L}^{-1}$) e, então, armazenados por sete dias a 10°C , seguidos por 23 dias a 3°C e 90 dias a 1°C . Os frutos foram analisados após quatro meses de armazenagem mais sete dias a 23°C .

Pomar	Firmeza de polpa (lb)		Teor de SS (%)	
	Controle ⁽¹⁾	1-MCP	Controle	1-MCP
1		12,7 b ⁽²⁾		13,0 c
2		14,2 a		13,0 c
3		12,3 b		12,5 c
4		12,7 b		13,7 b
5		14,3 a		12,8 c
6		12,3 b		10,6 e
7		12,0 b		11,4 d
8		14,1 a		14,6 a
9		12,2 b		11,1 de
<i>Média</i>		12,9		12,4
<i>D. padrão</i>		1,3		1,3
Efeito			Significância	
Pomar (P)		<0,0001		<0,0001
1-MCP (M)		0,8276		0,5920
P x M		0,1115		0,3281

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

⁽¹⁾Os níveis do fator 1-MCP (Controle e 1-MCP) foram agrupados devido à ausência de efeito interativo com o fator pomar.

⁽²⁾Letra minúscula na coluna compara efeito de pomar dentro de cada tratamento por meio do teste de Tukey, Letra maiúscula na linha compara efeito de tratamento (Controle e 1-MCP) dentro de cada pomar por meio do teste F da análise da variância. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si ao nível de significância de 5%.

O teor de SS também varia pouco ou, dependendo do ano, não varia, durante a armazenagem de maçãs ‘Honeycrisp’ (WARGO; WATKINS, 2004); assim como descrito para a firmeza de polpa, esta pequena alteração pode estar associada com a ausência de efeito do 1-MCP, embora, efeitos inconsistentemente do 1-MCP sobre o teor de SS também foram descritos em trabalhos com outras cultivares de maçãs (FAN; MATTHEIS; BLANKENSHIP, 1999).

Tabela 22 - Acidez titulável (AT) e cor de fundo (*hue*) de maçãs ‘Honeycrisp’. Um dia após a colheita, os frutos foram tratados ou não com o gás 1-MCP ($1 \mu\text{L L}^{-1}$) e, então, armazenados por sete dias a 10°C , seguidos por 23 dias a 3°C e 90 dias a 1°C . Os frutos foram analisados após quatro meses de armazenagem mais sete dias a 23°C .

Pomar	AT (%)		<i>Hue</i>	
	Controle	1-MCP	Controle	1-MCP
1	0,351 Ab ⁽¹⁾	0,378 Ab	99,3 Aa	100,3 Aa
2	0,411 Ba	0,449 Aa	89,4 Aab	85,4 Abc
3	0,334 Bbc	0,401 Ab	97,8 Aa	99,5 Aa
4	0,355 Ab	0,372 Ab	53,1 Bc	77,2 Ac
5	0,262 Ad	0,253 Ad	90,7 Aa	88,3 Aabc
6	0,344 Bbc	0,389 Ab	96,0 Aa	99,2 Aab
7	0,265 Ad	0,290 Acd	86,1 Aab	86,7 Aabc
8	0,407 Aa	0,441 Aa	74,1 Ab	78,3 Ac
9	0,298 Acd	0,300 Ac	93,3 Aa	99,6 Aa
<i>Média</i>	0,333 B	0,361 A	87,8 B	89,9 A
<i>D. padrão</i>	0,057	0,069	18,7	14,9
Efeito	Significância			
Pomar (P)	<0,0001		<0,0001	
1-MCP (M)	<0,0001		0,0163	
P x M	0,0037		0,0023	

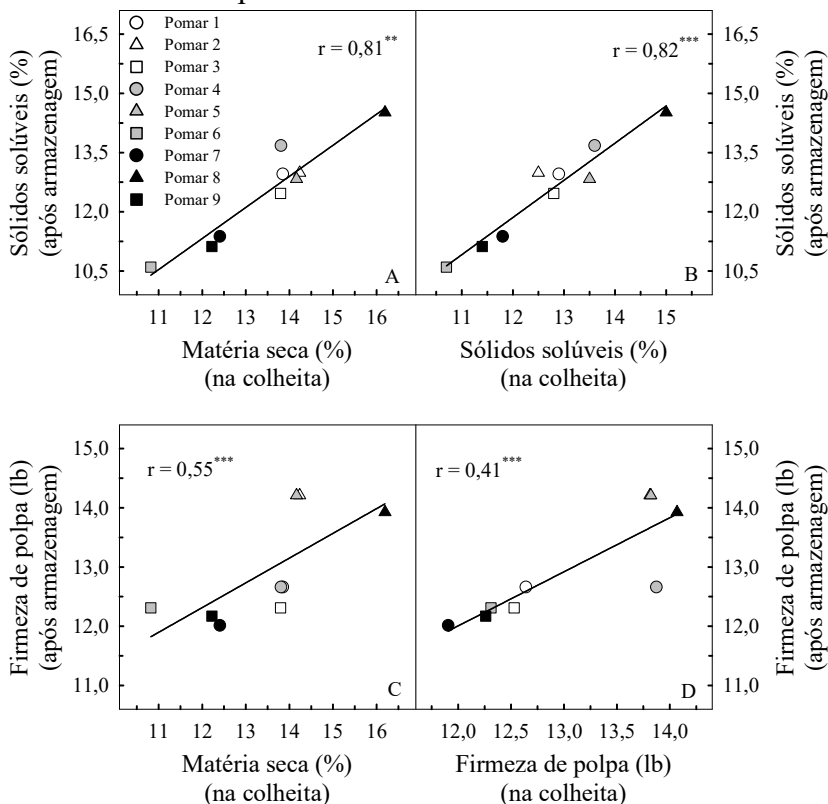
Fonte: produção do próprio autor, 2016.

⁽¹⁾Letra minúscula na coluna compara efeito de pomar dentro de cada tratamento por meio do teste de Tukey, Letra maiúscula na linha compara efeito de tratamento (Controle e 1-MCP) dentro de cada pomar por meio do teste F da análise da variância. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si ao nível de significância de 5%.

As relações entre o CMS na colheita com o teor de SS e com a firmeza de polpa após armazenagem são apresentadas na Figura 18 (A e C). Adicionalmente, a firmeza de polpa e o teor de SS na colheita foram correlacionados, respectivamente, com o teor de SS (Figura 18B) e com a firmeza de polpa (Figura 18D) após armazenagem. A relação entre o CMS na colheita com a AT após a armazenagem foi fraca ($r = 0,22$) e não significativa para ambos os tratamentos (Controle e 1-MCP) (dados não apresentados).

A determinação do CMS ou do teor de SS na colheita foram igualmente eficientes em indicar o teor de SS após armazenagem (Figura 18A e 18B). A correlação entre o CMS na colheita com o teor de SS após armazenagem ($r = 0,81$) está de acordo com resultados obtidos em maçãs ‘Royal Gala’ (McGLONE et al., 2003; PALMER et al., 2010) e pode ser reflexo do elevado conteúdo de carboidrato não estrutural presente na constituição da matéria seca de maçãs (SALO; KORHONEN, 1972; PALMER, 2007). Ao contrário da matéria seca, que sofre pequena alteração durante as semanas que antecedem a colheita (SCHECHTE; PROCTOR; ELFVING (1993a; 1993b), o teor de SS pode variar bastante com o avanço do estágio de maturação dos frutos, sendo este efeito dependente da hidrólise do amido (BOWEN; WATKINS, 1997). Portanto, em frutos colhidos antecipadamente, com menor índice de degradação do amido, a associação entre o teor de SS na colheita e após armazenagem pode ser menor do que quando colhidos tardiamente, sendo nestes casos, a determinação do CMS mais adequada para indicar o teor de SS após armazenagem. Todavia, os resultados obtidos no presente estudo indicam que para maçãs ‘Honeycrisp’, as quais normalmente são colhidas quando a maior parte do amido já foi degradado (Tabela 11; WARGO; WATKINS, 2004; WATKINS et al., 2005), as variações do teor de SS após armazenagem são igualmente explicadas pelas variações do CMS e do teor de SS determinados na colheita.

Figura 18 - Coeficiente de correlação de *Pearson* entre os atributos matéria seca, firmeza de polpa ou teor de sólidos solúveis de maçãs ‘Honeycrisp’ na colheita com a firmeza de polpa ou o teor de sólidos solúveis após armazenagem. Os frutos foram tratados ou não (Controle) com 1-MCP (1 $\mu\text{L L}^{-1}$) e, então, armazenados por sete dias a 10 °C, seguidos por 23 dias a 3 °C e 90 dias a 1 °C. Os frutos foram analisados após armazenagem mais sete dias a 23 °C. Os níveis do fator 1-MCP (Controle e 1-MCP) foram agrupados dentro de cada pomar.



Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Coefficiente de correlação significativo a 1(*) e 0,1% (***)

Além do teor de SS, os dados do presente estudo indicam relação positiva entre o CMS na colheita com a firmeza de polpa após armazenagem (Figura 18C), sendo estes resultados coincidentes com aqueles obtidos em estudos anteriores. Palmer et al. (2010) separaram maçãs ‘Royal Gala’ em três classes de matéria seca (132 g kg^{-1} , 143 g kg^{-1} e 157 g kg^{-1}) e verificaram maior firmeza de polpa após armazenagem em frutos com maior CMS. Saei et al. (2011) notaram que a firmeza de polpa após a armazenagem foi dependente da firmeza de polpa na colheita, porém, a taxa de perda de firmeza de polpa foi mais acentuada nos frutos pertencentes a classe mais baixa de matéria seca sugerindo que o acúmulo de matéria seca pode ser crítico para a formação e manutenção de tecidos firmes.

A relação entre firmeza de polpa na colheita com a firmeza de polpa após armazenagem também foi verificada no presente estudo, sendo, entretanto, menor ($r = 0,41$) (Figura 18D) que a obtida pela determinação do CMS ($r = 0,55$) (Figura 18C). Maçãs ‘Honeycrisp’ apresentam baixa firmeza de polpa na colheita, no entanto a crocância, atributo de textura dos frutos, é preservada durante a armazenagem, mesmo após longo períodos (TONG et al., 1999). De acordo com estes autores, a relação entre menor potencial osmótico (maior turgor celular) e integridade da parede celular estão associadas com a manutenção da crocância de maçãs ‘Honeycrisp’ e, portanto, seriam mais importantes do que a firmeza de polpa para expressar a qualidade sensorial desta cultivar. Wünsche et al. (2005) sugerem que a maior firmeza de polpa em frutos com maior CMS pode ser resultante do aumento do número de células no tecido cortical e/ou aumento do turgor celular.

Não houve efeito do fator principal 1-MCP (controle e 1-MCP) e nem da interação entre os fatores pomar e tratamento sobre a incidência de podridões e *bitter pit*, porém, a incidência dessas desordens foi influenciada pelo pomar (Tabela 23). Dependendo do pomar, não houve manifestação de sintomas de podridão (pomar 5) ou *bitter pit* (pomares 3 e 6) ou a incidência

de ambos foi superior a 35% (pomar 8). Assim como observado no presente estudo, DeEll, Ayres e Murr (2007) não verificaram efeitos do 1-MCP sobre a incidência pós-colheita de podridões. Em maçãs ‘Honeycrisp’ submetidas ao condicionamento térmico por quatro dias em temperatura ambiente (12 a 18 °C), seguido de atraso da atmosfera controlada (AC) por 0, 2, 4 ou 14 semanas a 3 °C, DeELL et al. (2016) não observaram efeito do 1-MCP sobre a incidência de *bitter pit* quando os frutos foram analisados após seis meses de armazenagem. O *bitter pit* é um distúrbio fisiológico associado a deficiência de cálcio (Ca) (FERGUSON; VOLZ; WOOLF, 1999). O desequilíbrio nutricional resultante da combinação entre baixo conteúdo de Ca e alto conteúdo de magnésio, potássio e/ou nitrogênio também são relacionadas com o aumento da susceptibilidade dos frutos (HOPFINGER; POOVAIAH, 1979; PERRING, 1986, FERGUSON; VOLZ; WOOLF, 1999; AMARANTE; STEFFENS, ERNANI; 2010; FREITAS et al., 2010). Análises para a determinação da composição mineral dos frutos não foram realizadas no presente estudo. Contudo, os resultados aqui apresentados evidenciam que, se comparado com a armazenagem diretamente a temperatura de 1 °C (Tabela 18), a maior susceptibilidade dos pomares 1 (11%) e 8 (39%) ao desenvolvimento de *bitter pit* somente foi expressa quando os frutos foram submetidos ao condicionamento térmico antes da armazenagem a 1 °C (Tabela 23). Resultados similares foram descritos em trabalhos anteriores (PERRING, 1986; ROBINSON; WATKINS, 2003; WATKINS et al., 2005), os quais indicam maior risco de *bitter pit* com o aumento da temperatura de armazenagem. O aumento da incidência de podridões é um efeito negativo adicional relacionado ao atraso da refrigeração, sendo intensificado em maçãs ‘Honeycrisp’ quando a temperatura é aumentada de 3 para 5 °C (WALTKINS et al., 2005). Índices significativos de frutos podres só foram observados no pomar 8 (36%), sendo o percentual de incidência coincidente com a presença de *bitter pit*, indicando que o

distúrbio foi uma via de infecção à patógenos causadores de doenças em pós-colheita.

Tabela 23 - Incidência de podridão e *bitter pit* em maçãs ‘Honeycrisp’. Os frutos foram colhidos em nove pomares comerciais próximos a Wenatchee em 2014. Um dia após a colheita, os frutos foram tratados ou não (Controle) com o gás 1-MCP (1 $\mu\text{L L}^{-1}$) e, então, armazenados por sete dias a 10 °C, seguidos por 23 dias a 3 °C e 90 dias a 1 °C. Os frutos foram analisados após armazenagem mais sete dias a 23 °C.

Pomar	Podridões (1-2)		<i>Bitter pit</i> (1-2)	
	Controle ⁽¹⁾	1-MCP	Controle	1-MCP
1		1,00 b ⁽²⁾		1,11 b
2		1,03 b		1,04 bc
3		1,01 b		1,00 c
4		1,01 b		1,02 c
5		1,00 b		1,01 c
6		1,03 b		1,00 c
7		1,01 b		1,03 bc
8		1,36 a		1,39 a
9		1,06 b		1,06 bc
<i>Média</i>		1,06		1,07
<i>D. padrão</i>		0,23		0,26
Efeito			Significância	
Pomar (P)		<0,0001		<0,0001
1-MCP (M)		0,3473		0,6278
P x M		0,0628		0,2069

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

⁽¹⁾Os níveis do fator tratamento (Controle e 1-MCP) foram agrupados quando não houve efeito interativo com o fator pomar.

⁽²⁾Letra minúscula na coluna compara efeito de pomar dentro de cada tratamento por meio do teste de Tukey, Letra maiúscula na linha compara efeito de tratamento (Controle e 1-MCP) dentro de cada pomar por meio do teste F da análise da variância. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si ao nível de significância de 5%.

A incidência de *soft scald* e *soggy breakdown* (média dos nove pomares) foi inferior a 6%, independentemente do

tratamento com 1-MCP (Tabela 24). Essa incidência é menor que aquela observada nos frutos dos mesmos pomares submetidos a refrigeração rápida, do experimento 1 (Tabela 18) e ressaltam a importância do condicionamento térmico para a redução de dano por frio (DeLONG; PRANGE; HARRISON, 2004; DeLONG et al., 2006; WALTKINS et al.; 2004; 2005).

Tabela 24 - Incidência de *soft scald* e *soggy breakdown* em maçãs ‘Honeycrisp’. Os frutos foram colhidos em 2014 em nove pomares comerciais. Um dia após a colheita, os frutos foram tratados ou não (Controle) com o gás 1-MCP ($1 \mu\text{L L}^{-1}$) e, então, armazenados por sete dias a 10°C , seguidos por 23 dias a 3°C e 90 dias a 1°C . Os frutos foram analisados após armazenagem mais sete dias a 23°C .

Pomar	<i>Soft scald</i> (1-2)		<i>Soggy breakdown</i> (1-2)	
	Controle	1-MCP	Controle	1-MCP
1	1,01 Bb	1,17 Aa	1,00 Bb	1,15 Aa
2	1,11 Aab	1,03 Bbc	1,06 Aab	1,01 Ab
3	1,04 Aab	1,10 Aabc	1,01 Bb	1,10 Aab
4	1,03 Ab	1,06 Aabc	1,00 Ab	1,00 Ab
5	1,07 Aab	1,01 Ac	1,00 Ab	1,00 Ab
6	1,15 Aa	1,00 Bc	1,03 Aab	1,01 Ab
7	1,00 Ab	1,00 Ac	1,00 Ab	1,00 Ab
8	1,02 Ab	1,03 Abc	1,00 Ab	1,00 Ab
9	1,01 Bb	1,14 Aab	1,10 Aa	1,15 Aa
<i>Média</i>	1,05	1,06	1,02	1,05
<i>D. padrão</i>	0,22	0,24	0,15	0,21
Efeito	Significância			
Pomar (P)	0,0089		<0,0001	
1-MCP (M)	0,4631		0,0081	
P x M	<0,0001		<0,0001	

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

⁽¹⁾Letra minúscula na coluna compara efeito de pomar dentro de cada tratamento por meio do teste de Tukey, Letra maiúscula na linha compara efeito de tratamento (Controle e 1-MCP) dentro de cada pomar por meio do teste F da análise da variância. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si ao nível de significância de 5%. ⁽³⁾Os níveis do fator tratamento (Controle e 1-MCP) foram agrupados quando não houve efeito interativo com o fator pomar.

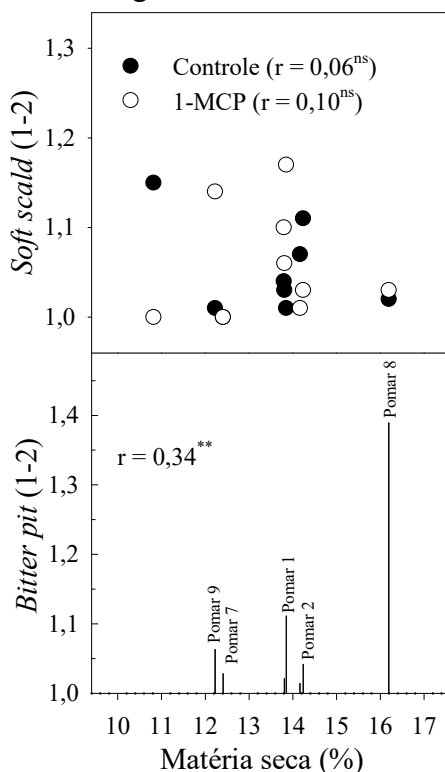
Interação significativa entre os fatores estudados (pomar e 1-MCP) foram observadas sobre a incidência de dano por frio (*soft scald* e *soggy breakdown*) (Tabela 24). Dependendo do pomar, a incidência de *soft scald* aumentou (pomares 1 e 9), reduziu (pomares 2 e 6) ou não foi afetada (pomares 3, 4, 5, 7 e 8) pelo tratamento com 1-MCP, ao passo que, a o tratamento com 1-MCP aumentou (pomares 1 e 3) ou não teve efeito sobre a incidência de *soggy breakdown*. Estes resultados diferem daqueles obtidos em maçãs ‘Fuji’ por Fan, Mattheis e Blankenship (1999), que indicam controle de *soft scald*, pelo tratamento com 1-MCP. Porém, estão de acordo com as observações de DeEll e Murr, citado em DeELL (2005), que indicam ausência de efeito do 1-MCP, quando aplicado em pós-colheita, sobre o controle de dano por frio em maçãs ‘Honeycrisp’. A inconsistência de efeito do 1-MCP sobre a incidência de dano por frio em maçãs ‘Honeycrisp’ também é evidenciada pelo fato de que a pulverização dos frutos com 1-MCP, cinco dias antes da colheita, reduziu a incidência de *soft scald* durante a armazenagem a 0 °C e a 3 °C.

Ao contrário dos resultados obtidos no experimento 1, não houve correlação entre CMS na colheita com a incidência de *soft scald* após armazenagem (Figura 19). A ausência de correlação pode ser atribuída ao efeito positivo do condicionamento térmico sobre a redução desta desordem (Tabela 17). No entanto, o CMS apresentou correlação positiva com a incidência de *bitter pit* ($r = 0,46^{***}$) após a armazenagem.

Interessante notar que não houve aumento acentuado da incidência de dano por frio quando os frutos foram armazenados sob temperatura de indução do dano (1 °C) após o período de condicionamento térmico (sete dias 10 °C, seguido por 23 dias a 3 °C). Estes resultados sugerem que o período de máxima susceptibilidade de maçãs ‘Honeycrisp’ ao desenvolvimento de dano por frio é inferior a 30 dias, o que indica possibilidade de manejo da temperatura de armazenagem após o período de

condicionamento térmico para minimizar o risco de perdas de produção, especialmente por podridões.

Figura 19 - Coeficiente de correlação de *Spearman* entre o conteúdo de matéria seca de maçãs ‘Honeycrisp’ na colheita com a incidência de *soft scald* (1-2) e *bitter pit* (1-2) após armazenagem. Um dia após a colheita, os frutos foram tratados ou não (Controle) com o gás 1-MCP ($1 \mu\text{L L}^{-1}$) e, então, armazenados por sete dias a 10°C , seguidos por 23 dias a 3°C e 90 dias a 1°C . Os frutos foram analisados após armazenagem mais sete dias a 23°C .



Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Coeficiente de correlação significativo a 1% (**).

4.5 CONCLUSÃO

A susceptibilidade de maçãs ‘Honeycrisp’ ao dano por frio depende do pomar e do manejo da temperatura após a colheita dos frutos. Em pomares susceptíveis, a redução gradativa da temperatura durante o primeiro mês de armazenagem (condicionamento térmico) reduz a sensibilidade, mesmo quando após esse período os frutos são armazenados em temperatura de indução de dano. Estudos adicionais, envolvendo variações de tempo e temperatura durante o condicionamento térmico serão conduzidos com o objetivo de identificar o manejo mais adequado da temperatura para minimizar os riscos de perdas por dano por frio e, simultaneamente reduzir os riscos de perdas por *bitter pit*, que é favorecido pelo procedimento de condicionamento térmico e não é reduzido pela aplicação do 1-MCP.

O uso do conteúdo de matéria seca na colheita (CMS) e da fluorescência da clorofila durante a primeira semana de armazenagem não são adequados para segregar pomares em função da susceptibilidade ao dano por frio.

O CMS pode ser empregado como indicador na colheita do teor de sólidos solúveis e da firmeza de polpa pós-colheita dos frutos.

5 RELAÇÃO ENTRE MATÉRIA SECA NA COLHEITA E INCIDÊNCIA DE *BITTER PIT* EM MAÇÃS ‘HONEYCRISP’ NA COLHEITA E APÓS ARMAZENAGEM

5.1 RESUMO

O presente estudo teve por objetivo avaliar a relação entre o conteúdo de matéria seca (CMS) na colheita com a qualidade e incidência de *bitter pit* em maçãs ‘Honeycrisp’ após a armazenagem e avaliar os métodos de indução de *bitter pit* (infiltração com Mg^{2+} e método passivo) como indicadores dos riscos de desenvolvimento do distúrbio. Os frutos foram colhidos em três pomares comerciais próximos a Wenatchee. Após a colheita, os frutos foram submetidos a um período de condicionamento térmico a 10 °C por 15 dias. Posteriormente, os frutos foram infiltrados ou não com Mg^{2+} e analisados após a infiltração mais 10 dias a 23 °C. Uma amostra de frutos não infiltrada com Mg^{2+} foi mantida a 7 °C por 15 dias e armazenadas por quatro meses a 3 °C, sendo estes frutos analisados após este período mais sete dias a 23 °C. O CMS na colheita variou com o pomar de 13,5 a 14,9%. Após armazenagem, o CMS variou com o pomar e, dentro do pomar, com a presença de *bitter pit*. Tendência de aumento do CMS foi observado em frutos com presença de *bitter pit*, no entanto, o efeito dependeu do pomar. A incidência de *bitter pit* após armazenagem variou com o pomar sendo de aproximadamente 17% nos pomares 1 e 3 e de 31% no pomar 2. De maneira geral, ambos os métodos de indução do dano foram eficazes em indicar alta susceptibilidade dos pomares ao desenvolvimento de *bitter pit*; todavia, o método de infiltração superestimou a ocorrência natural de *bitter pit*, enquanto o método passivo superestimou ou subestimou, dependendo do pomar. Houve correlação significativa entre o CMS na colheita com o teor de sólidos solúveis e com a acidez titulável na colheita e após

armazenagem, mas não com a firmeza de polpa. Os resultados do presente estudo indicam que os métodos de indução de *bitter pit* testados podem ser igualmente empregados na colheita para estimar o risco de desenvolvimento da desordem após armazenagem e que o CMS na colheita pode ser empregado como indicador do teor de SS e AT em pós-colheita.

Palavras-chave: *Malus domestica*. Sólidos solúveis. Infiltração com Mg^{2+} . Distúrbio fisiológico.

5.2 INTRODUÇÃO

Maçãs ‘Honeycrisp’ têm sido largamente produzidas na América do Norte (WARGO; WATKINS et al., 2004; MORAN; DeELL; HALTEMAN, 2009). O interesse na produção desta cultivar ocorreu pelo maior retorno financeiro aos produtores (WARGO; WATKINS, 2004; DeELL, 2005) o qual está associado a qualidade sensorial dos frutos (WATKINS et al., 2005) e a disposição dos consumidores em pagar mais por qualidade.

Apesar das vantagens comerciais aos produtores, maçãs ‘Honeycrisp’ são susceptíveis ao desenvolvimento de dano por frio, notadamente *soft scald* e *soggy breakdown* (TONG et al., 2003; WATKINS et al., 2004; DeELL, 2005). Estes distúrbios caracterizam-se por lesões marrom, de formato irregular, sobre a epiderme e polpa, respectivamente (WATKINS et al., 2005). Dependendo do manejo pós-colheita, o dano se manifesta após curtos períodos de armazenagem (TONG et al., 2003; DeELL, 2005; WATKINS et al., 2005) podendo, em casos severos, resultar na perda da totalidade dos frutos armazenados (DeELL, 2005).

A colheita no ponto ideal (TONG et al., 2003; WARGO; WATKINS, 2004; WATKINS et al., 2004; 2005; DeELL, 2005) e, sobretudo, a redução gradativa da temperatura (condicionamento térmico) reduzem significativamente a

incidência do dano (DeLONG et al., 2004; WATKINS et al., 2004; 2005) sem influenciar negativamente a qualidade sensorial dos frutos (DeLONG et al., 2004). Todavia, o período de condicionamento térmico, assim como de armazenagem a 3 °C, podem favorecer o desenvolvimento de *bitter pit* (PERRING, 1986; WATKINS et al., 2004).

O *bitter pit* é um distúrbio fisiológico caracterizado por manchas pequenas de coloração escura na casca, acima do tecido necrosado na polpa. Em casos severos, o distúrbio também pode ser observado na polpa. Maçãs ‘Honeycrisp’ são altamente susceptíveis ao desenvolvimento de *bitter pit* (WATKINS et al., 2004). A incidência de *bitter pit* nos frutos desta cultivar pode chegar a 50%, dependendo do ano e pomar (DeELL, 2005). A deficiência de cálcio (Ca^{2+}) é o principal fator predisponente a ocorrência do distúrbio (FERGUSON; VOLZ; WOOLF, 1999). Desequilíbrios entre Ca^{2+} e outros nutrientes (magnésio, nitrogênio e/ou potássio) também foram associados (HOPFINGER; POOVAIAH, 1979; PERRING, 1986, FERGUSON; VOLZ; WOOLF, 1999; FREITAS et al., 2010), sendo a relação entre esses nutrientes e Ca^{2+} mais importante do que a concentração individual de cada um dos minerais (PERRING, 1986).

A determinação da susceptibilidade dos frutos ao *bitter pit* é essencial para reduzir as perdas de produção por este distúrbio. A infiltração dos frutos com magnésio (Mg^{2+}) induz a manifestação de sintomas semelhantes a *bitter pit* (HOPFINGER; POOVAIAH, 1979) e foi recomendada como método de previsão da susceptibilidade das maçãs a esse distúrbio para diferentes cultivares em vários locais de produção (BURMEISTER; DILLEY, 1991; RETAMALES et al., 2000; AMARANTE; ERNANI; STEFFENS, 2009). Adicionalmente, o método corresponde a uma medida indireta do conteúdo de Ca^{2+} nos frutos (BURMEISTER; DILLEY, 1991). Em maçãs “Golden Smoothee”, Torres et al. (2015) demonstraram que, assim como o método de infiltração com Mg^{2+} , a simples

exposição dos frutos a temperatura de 23 °C cerca de 20 dias antes da data de colheita ou na colheita também é adequada para determinar o risco de desenvolvimento de *bitter pit*, sendo denominado de método passivo de indução do distúrbio.

Estudos recentes demonstraram que a qualidade pós-colheita de frutos pode ser prevista pela avaliação do conteúdo de matéria seca (CMS) na colheita. Relações altamente positiva entre o CMS na colheita com o teor de sólidos solúveis (SS) após armazenagem foram observadas em kiwi (VELEMIS; VASILAKAKIS; MANOLAKIS, 1997; CRISOSTO et al., 2012), abacate (GAMBLE et al., 2010) e manga (PADDA et al., 2011). Em maçãs, além do maior conteúdo de SS (WÜNSCHE; LAKSO, 2000; McGLONE et al., 2003; PALMER et al., 2010), frutos com alto CMS apresentaram menor taxa de perda de firmeza de polpa durante armazenagem (SAEI et al., 2011).

Embora sejam bem conhecidas as relações entre CMS na colheita e a qualidade dos frutos após armazenagem, são menos documentadas as relações entre variações do CMS entre pomares com a susceptibilidade dos frutos ao desenvolvimento de distúrbios fisiológicos durante armazenagem. Em abacate ‘Hass’, o CMS na colheita se correlacionou negativamente com o desenvolvimento de distúrbios fisiológicos e podridões (PAK; DIXON; CUTTING, 2003). Em estudo com maçãs ‘Golden Delicious’, provenientes de diferentes pomares, Wolk et al. (1998) observaram baixa incidência de *bitter pit* e ausência de relação entre CMS dos frutos com a incidência do distúrbio. Em maçãs ‘Granny Smith’ analisadas após 60 dias de armazenagem a 0 °C, Freitas et al. (2010) observaram maior CMS em frutos com sintomas de *bitter pit*.

Os seguintes objetivos foram propostos para este estudo: 1) avaliar a relação entre o CMS na colheita e a qualidade de maçãs ‘Honeycrisp’ na colheita e após armazenagem, 2) avaliar a eficiência dos métodos de indução de *bitter pit* (método de infiltração com Mg^{2+} e método passivo) e 3) avaliar as relações entre incidência e severidade de *bitter pit* com o CMS.

5.3 MATERIAL E MÉTODOS

Maçãs ‘Honeycrisp’ foram colhidas em três pomares comerciais localizados próximos à Wenatchee/WA/EUA em 2015. As maçãs dos três pomares apresentavam, na colheita, sintomas visuais de *bitter pit*, sendo a incidência considerada baixa (<5%), média (entre 5 e 10%) e alta (>10%) nos pomares 1, 3 e 2, respectivamente. No dia seguinte a colheita, três experimentos foram implantados com os demais frutos amostrados.

No experimento 1, os frutos de cada um dos pomares foram separados em quatro classes de acordo com a severidade de *bitter pit*: 1. ausência de sintomas externos; 2. inicial (1 a 25% da área superficial da epiderme do fruto com sintomas); 3. moderado (26 a 50% da área superficial da epiderme do fruto com sintomas); 4. severo (> 51% da área superficial da epiderme do fruto com sintomas). Exceção ocorreu para o pomar 1, no qual não havia frutos com a máxima severidade do dano. Posteriormente, determinou-se o CMS dos frutos contidos em cada uma das classes.

No experimento 2, frutos livres de defeitos foram homogeneizados, distribuídos aleatoriamente em bandejas de papelão, acondicionados em caixa de papelão e, então, armazenadas a $10,0 \pm 0,5$ °C por 15 dias. Após este período, frutos que desenvolveram sintomas visuais de *bitter pit* foram removidos. A quantidade de frutos removidos por apresentarem sintomas de *bitter pit* foi de aproximadamente 25% na amostra do pomar 2 e menos de 3%, nas amostras dos demais pomares. A seguir, se preparou duas amostras de 36 frutos, sem sintomas de *bitter pit*, por pomar. Uma das amostras foi infiltrada com solução contendo água destilada, cloreto de magnésio hidratado ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; 0,15 M), sorbitol (0,4 M) e Tween-20 (0,01 %). A segunda amostra foi mantida sem tratamento, servindo como controle, o qual foi chamado de método passivo (MP) de indução do distúrbio por Torres et al. (2015). Previamente a infiltração,

os frutos foram desinfestados com solução de hipoclorito de sódio (1,5%) e, em seguida, lavados em água corrente. O processo de infiltração foi realizado para cada pomar separadamente por meio da submersão dos frutos em um tanque de acrílico (capacidade para 34 L de solução) contendo a solução descrita acima. A pressão no interior do tanque foi reduzida gradativamente até 250 mm de Hg, durante 1 minuto e mantida a 250 mm de Hg por três minutos, com bomba de vácuo e pressão (HOPFINER; POOVAIAH 1979). A bomba de vácuo e pressão permaneceu ligada durante todo o período de infiltração, sendo a pressão ajustada manualmente. Os frutos foram removidos da solução de infiltração e deixados secar. Em seguida, frutos de ambos os métodos (método passivo e de infiltração) foram transferidos para temperatura de $23,0 \pm 0,5$ °C por 10 dias, período a partir do qual o desenvolvimento de *bitter pit* tende a estabilizar (BURMEISTER; DILLEY, 1991; TORRES et al., 2015). Após este período, os frutos foram avaliados quanto a incidência de *bitter pit*.

No experimento 3, frutos livres de defeitos dos três pomares foram armazenados por sete dias a $10,0 \pm 0,5$ °C seguidos por quatro meses a $3,0 \pm 0,5$ °C. Após armazenagem mais sete dias a $23,0 \pm 0,5$ °C, os frutos foram analisados quanto à qualidade físico-química e a incidência de distúrbios fisiológicos e podridões. A qualidade dos frutos após armazenagem foi correlacionada com o CMS na colheita, ao passo que, a ocorrência natural de *bitter pit* após armazenagem foi comparada com aquela induzida pelo método passivo e de infiltração com Mg^{2+} .

Os frutos da amostra inicial foram analisados na colheita quanto a massa fresca, firmeza de polpa, teor de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), índice de amido (IA), cor de fundo (região da epiderme com menor desenvolvimento de cor vermelha), concentração interna de etileno (CIE) e conteúdo de matéria seca (CMS). Após armazenagem, os frutos do experimento 1 foram analisados quanto a severidade de *bitter pit*

enquanto os frutos do experimento 2 foram analisados quanto a incidência de *bitter pit* e outras desordens induzidas pelo método de infiltração e, os frutos do experimento 3 foram analisados quanto a firmeza de polpa, teor de SS, AT, incidência de *bitter pit*.

A massa dos frutos foi determinada por meio de balança analítica. A cor de fundo foi estimada visualmente com auxílio de uma tabela com escada de 1. (coloração verde escura) a 5. (coloração creme/amarelado). A firmeza de polpa foi medida em dois lados opostos da superfície de cada fruto, onde previamente a epiderme foi removida, pela utilização de penetrômetro eletrônico, com ponteira de 11 mm (Mohr Digi-Test; Mohr and Associates, Richland, WA). Uma fatia longitudinal em formato de cunha, incluindo polpa e casca, foi removida de cada fruto e fatias de dois frutos foram combinadas para preparar uma amostra de suco por meio de um espremedor centrífugo (Champion, Plastaket Mfg. EUA), sendo o teor de SS e a AT determinados em cada amostra. O teor de SS foi determinado utilizando-se um refratômetro digital com compensação automática da temperatura (Atago, Japão). A AT foi determinada pela titulação de 5 mL de suco com hidróxido de potássio (KOH; 0,1 N) até pH 8,2, usando um titulador automático (Radiometer Analytical, França). O índice de degradação do amido foi estimado visualmente por meio de uma escala de 1 (100% da superfície com amido) a 6 (0% da superfície com amido) depois de expor uma secção equatorial de cada fruto a solução de I₂+KI. A CIE foi determinado em uma amostra de gás (0,5 mL) retirada com auxílio de uma seringa hipodérmica da cavidade carpelar dos frutos. As amostras foram injetadas em um cromatógrafo a gás (HP 5980, Agilent Technologies, Palo Alto, CA) equipado com detector de ionização de chama e coluna de vidro de 46 cm (comprimento) x 0,32 cm (diâmetro) contendo Paropack Q (Supelco Co. Bellefonte, PA). As temperaturas do forno, injetor e detector foram de 60, 100 e 200 °C, respectivamente. Os fluxos de N₂,

H₂ e ar foram de 0,5, 0,17 e 3,3 mL s⁻¹, respectivamente. O CMS foi estimado em uma fatia coletada na região equatorial, em forma de um disco (~11 mm de espessura), contendo tecido da polpa e casca de cada fruto, sendo a região carpelar, incluindo as sementes, removida com auxílio de um furador de rolha. As fatias foram pesadas para determinar a massa fresca, colocadas em estufa a 70 °C por pelo menos 48 horas e, então, pesadas novamente para determinação da massa seca. O CMS de cada amostra foi determinado pela relação entre a massa seca e a massa fresca, sendo os resultados expressos em percentual. A incidência de *bitter pit* foi analisada visualmente atribuindo-se notas: 1. Ausente; 2. Presente. Apenas no experimento 1, a severidade de *bitter pit* foi avaliada atribuindo-se as seguintes notas: 1. ausência de sintomas externos; 2. inicial (1 a 25% da área superficial da epiderme do fruto com sintomas); 3. moderado (26 a 50% da área superficial da epiderme do fruto com sintomas); 4. severo (> 51% da área superficial da epiderme do fruto com sintomas).

A qualidade dos frutos na colheita e após armazenagem foi determinada em amostras de 18 frutos; exceto para o teor de SS, AT e CMS, os quais foram utilizadas nove repetições provenientes da combinação de amostras de dois frutos. A CIE foi determinada na colheita em dez frutos. O número de frutos utilizados para a determinação da incidência de distúrbios fisiológicos e podridões variaram com o experimento. No experimento 2 foram utilizados 36, 36 e 72 frutos por pomar para os tratamentos método passivo, método de infiltração com Mg²⁺ e ocorrência natural de *bitter pit* após armazenagem, respectivamente. No experimento 3, a incidência de distúrbios fisiológicos e podridões foram determinadas em amostra de 72 frutos.

Os experimentos foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizados. Frutos do experimento 1 não foram submetidos a análise de variância devido ao reduzido número de repetições de frutos com sintomas de *bitter pit* nos graus de

severidade moderado e severo. No experimento 2, esquema fatorial 3 x 3, obtido da combinação de três níveis do fator pomar e três níveis do fator tratamento (método passivo, método de infiltração com Mg^{2+} e ocorrência natural de *bitter pit* após armazenagem) foi utilizado. Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) para determinar a significância dos fatores principais e, quando aplicável, das interações. Quando o número de graus de liberdade dos tratamentos foi superior a um, as diferenças entre tratamentos foram determinadas por meio do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade e, quando igual a um, determinadas por meio do teste F da ANOVA ao nível de 5% de probabilidade. As relações entre o CMS na colheita com a qualidade dos frutos na colheita e com a qualidade e a incidência de distúrbios fisiológicos após armazenagem foram determinadas por meio da análise de correlação de *Pearson*.

5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.4.1 Qualidade dos frutos na colheita

A massa fresca dos frutos e a acidez titulável (AT) foram superiores no pomar 1 e não diferiu significativamente entre os pomares 2 e 3 enquanto a firmeza de polpa não diferiu entre os três pomares (Tabela 25). O índice de amido (IA) foi mais elevado no pomar 3, o que significa estágio de maturação mais avançado. O teor de sólidos solúveis, assim como o conteúdo de matéria seca (CMS), foi superior no pomar 1, seguido pelos pomares 3 e 2, sendo este último significativamente inferior aos demais pomares. A cor de fundo foi maior no pomar 3, seguido pelo pomar 1. O menor índice de cor de fundo, o que significa estágio de maturação mais atrasado, foi observada no pomar 2. De acordo com Walktins et al. (2005), o ponto ideal de maturação é caracterizado quando maçãs ‘Honeycrisp’ apresentam índice de amido superior a 6 (escala de 1 a 9) e/ou

cor de fundo mudando do verde para o amarelo (DeELL, 2005). Medidas do IA, CIE, teor de SS e cor de fundo indicaram que os frutos do pomar 3 estavam mais maduros que aqueles do pomar 2, na colheita. Os frutos do pomar 3 também estavam mais maduros que aqueles do pomar 1 com base no IA e cor de fundo embora não diferissem quanto a CIE e firmeza da polpa.

Tabela 25 - Massa fresca, firmeza de polpa, índice de amido (IA), teor de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), cor de fundo, concentração interna de etileno (CIE) e conteúdo de matéria seca (CMS) de maçãs ‘Honeycrisp’. Os frutos foram colhidos em 2015 em três pomares comerciais.

Variável	Pomar 1	Pomar 2	Pomar 3
Massa fresca (g)	312,9 a ⁽¹⁾	258,1 b	231,4 b
Firmeza de polpa (lb)	12,1 a	12,2 a	12,6 a
IA (1-6)	5,2 b	5,0 b	5,8 a
SS (%)	14,0 a	12,7 c	13,2 b
AT (%)	0,648 a	0,549 b	0,529 b
Cor (1-5)	3,2 b	2,5 c	3,8 a
CIE ($\mu\text{L L}^{-1}$)	12,6 a	1,9 b	7,2 ab
CMS (%)	14,9 a	13,5 c	14,1 b

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

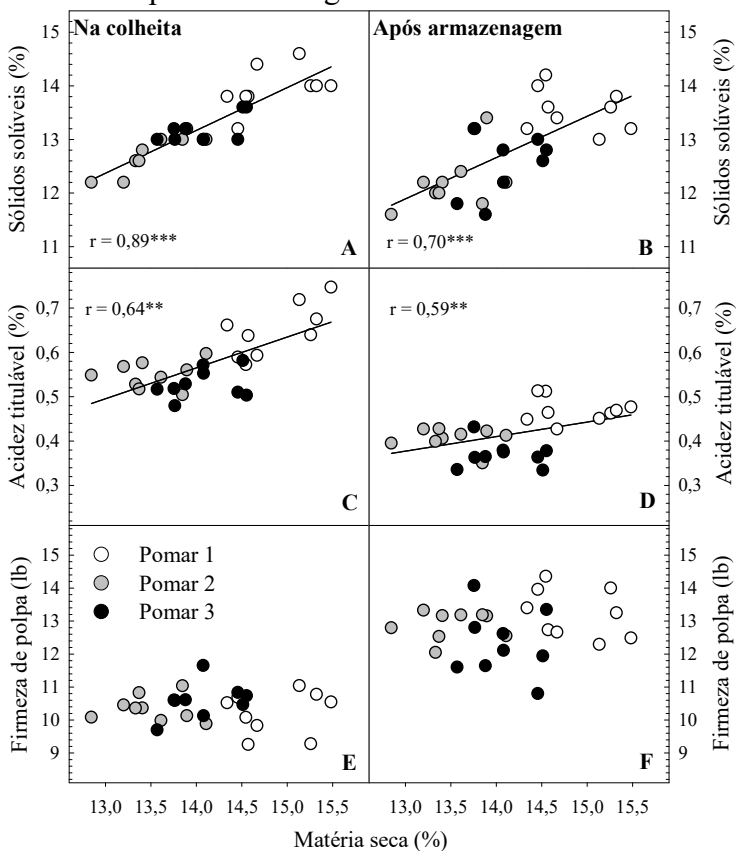
⁽¹⁾Médias seguidas por letras iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

5.4.2 Relação entre conteúdo de matéria seca (CMS) na colheita e qualidade na colheita e após armazenagem

O CMS se correlacionou positivamente com o teor de SS na colheita (Figura 20A) e após armazenagem (Figura 20B), sendo estes resultados coincidentes com aqueles obtidos em diversas cultivares de maçã (WÜNSCHE; LAKSO, 2000; McGLONE et al., 2003; PALMER et al., 2010) e em outras espécies, como o kiwi (VELEMIS; VASILAKAKIS; MANOLAKIS, 1997; JORDAN et al., 2000; CRISOSTO et al.,

2012), o abacate (GAMBLE et al., 2010) e a manga (PADDA et al., 2011).

Figura 20 - Relação entre o conteúdo de matéria seca (CMS) na colheita e a o teor de sólidos solúveis, acidez titulável e a firmeza de polpa de maçãs ‘Honeycrisp’ na colheita (gráficos A, B e C) e após armazenagem (gráfico D, E e F). Os frutos foram colhidos em 2015 em três pomares comerciais e avaliados na colheita e após armazenagem mais sete dias a 23 °C.



Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Coefficiente de correlação significativo a 1(**) e 0,1% (***)

A relação entre estas variáveis foi maior na colheita (Figura 20A) que após armazenagem (Figura 20B), sendo estes resultados divergentes daqueles obtidos em estudos anteriores. Em maçãs ‘Royal Gala’, McGlone et al. (2003) observaram que a relação entre estas variáveis tende a aumentar com a armazenagem, sendo este efeito associado a perda de massa fresca dos frutos (concentrando a matéria seca) e/ou pela hidrólise do amido (aumentando o teor de SS). Resultados similares aos descritos por McGlone et al. (2003) foram obtidos por Palmer et al. (2010) em maçãs ‘Royal Gala’ e ‘SciFresh’. No presente estudo, na colheita, a maior parte do amido das maçãs dos 3 pomares já estava hidrolisada, sugerindo que a contribuição deste para o aumento do teor de SS durante a armazenagem foi pequena (Tabela 25). Adicionalmente, a menor relação entre CMS determinado na colheita e teor de SS determinado após armazenagem pode ser devido ao fato de que na colheita, o CMS e o teor de SS foram determinados nos mesmos frutos (PALMER et al., 2010). Como a determinação do CMS no presente estudo envolveu análises destrutivas, os frutos utilizados para a determinação do teor de SS após armazenagem foram diferentes daqueles utilizados para a determinação do CMS na colheita.

A AT também se correlacionou positivamente com o CMS na colheita (Figura 20C) e após armazenagem (Figura 20D). Estes resultados coincidem com aqueles reportados por Palmer et al. (2010), os quais observaram relação positiva entre frutos de classes mais altas de matéria seca com a AT.

Não foi observado relação entre o CMS na colheita com a firmeza de polpa na colheita e após armazenagem (Figura 20 E e F). Palmer et al. (2010) separaram maçãs ‘Royal Gala’ e ‘Scifresh’ em três classes de matéria seca (132 g kg^{-1} ; 143 g kg^{-1} ; 157 g kg^{-1}) e verificaram, após 6 e 12 semanas de armazenamento, maior firmeza de polpa em frutos pertencentes a classe mais alta de CMS, sendo, no entanto, a associação entre estas variáveis maior em ‘Scifresh’, indicando que a relação

pode ser dependente da cultivar. De forma similar, Saei et al. (2011) notaram que a firmeza dos frutos na colheita foi positivamente correlacionada com a classe de matéria seca e que a taxa de redução da firmeza de polpa durante a armazenagem foi maior em frutos pertencente a classe mais baixa de matéria seca. De acordo com Salo; Korhonen (1972), cerca de 11 a 17% da composição da matéria seca é formada por componentes estruturais (hemicelulose, pectinas e celulose) e, conforme discutido por Saei et al. (2011), o acúmulo de matéria seca pode ser crítico para a formação e manutenção de tecidos firmes. A ausência de relação entre o CMS e a firmeza de polpa em maçãs ‘Honeycrisp’ pode estar associada a pequena variação de firmeza de polpa na colheita entre os três pomares estudados e ao reduzido número de pomares utilizados no presente estudo (Tabela 25). Além disso, a firmeza de polpa de maçãs ‘Honeycrisp’ não altera significativamente durante a armazenagem (WARGO; WATKINS, 2004).

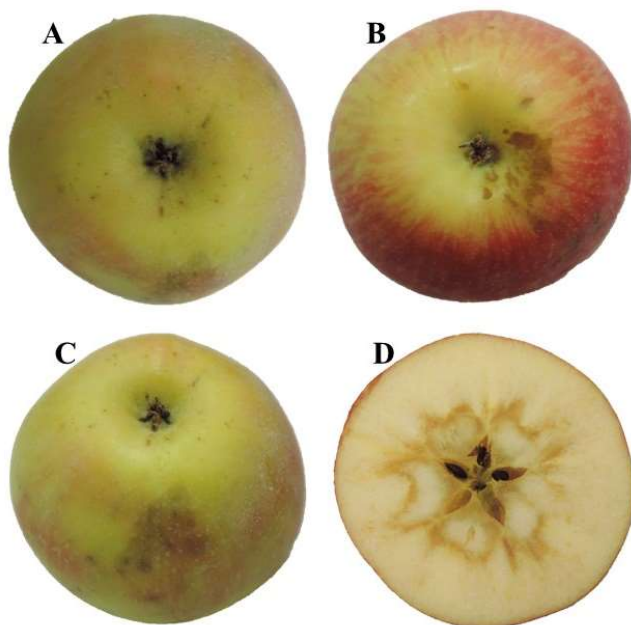
5.4.3 Métodos de predição do risco de *bitter pit* em maçãs ‘Honeycrisp’

Quatro diferentes desordens foram observadas em frutos infiltrados com Mg^{2+} : 1. manchas tipo *bitter pit* (Figura 21A); 2. escurecimento calicinar (Figura 21B); 3. manchas marrom (tecido encharcado) (Figura 21C); 4. escurecimento carpelar (Figura 21D).

Identificou-se como manchas do tipo *bitter pit* aquelas com coloração marrom sobre a epiderme, levemente deprimidas, de formato circular, com diâmetro normalmente inferior a 0,7 cm e que ocorreram na região distal dos frutos, sendo este local coincidente com a menor concentração de cálcio nos frutos (PERRING, 1986; AMARANTE; ERNANI; STEFFENS, 2009) e com a incidência natural do distúrbio (FERGUNSON; WATKINS, 1989) (Figura 21A). Frutos com sintomas de escurecimento calicinar foram aqueles que apresentaram uma ou

mais manchas de formato irregular de coloração marrom, deprimidas ou não, localizadas nessa região do fruto (Figura 21B).

Figura 21 - Sintomas de manchas tipo *bitter pit* (A), escurecimento calicinar (B), mancha marrom (tecido encharcado) (C) e escurecimento carpelar (D) em maçãs 'Honeycrisp'. Os frutos foram colhidos em 2015 em três pomares comerciais. Após a colheita, os frutos foram infiltrados com solução contendo cloreto de magnésio hidratado ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$; 0,15 M) e analisados após a infiltração mais 10 dias a 23 °C.



Fonte: produção do próprio autor, 2016.

A desordem denominada mancha marrom caracterizou-se pela presença de tecido encharcado, irregularidade de formato

sobre a epiderme e semelhança visual a um dano mecânico (batida), tanto sobre a epiderme quanto na polpa (Figura 21C). No entanto, diferentemente de dano mecânico, essas manchas eram firmes e sempre apresentavam pontuações arredondadas no seu interior (aproximadamente 0,5 cm de diâmetro) de coloração variando do marrom ao preto. Frutos com sintomas de escurecimento carpelar apresentaram a região periférica do carpelo, incluindo os tecidos vasculares, contornado por uma “linha” de coloração marrom claro. A mesma sintomatologia foi observada internamente e ao redor da cavidade carpelar (Figura 21D).

Entre estas desordens, somente manchas do tipo *bitter pit* têm sido descritas em estudos envolvendo a infiltração de maçãs com Mg^{2+} (HOPFINGER; POOVAIAH; PATTERSON, 1984; BURMEISTER; DILLEY, 1991; 1993; RETAMALES et al., 2000; AMARANTE; ERNANI; STEFFENS, 2009; TORRES et al., 2015). Sintomas de manchas tipo *bitter pit* na polpa também foram identificadas por Amarante, Ernani e Steffens (2009), porém, no presente estudo, a incidência desta desordem foi baixa (<3%), só ocorreu no pomar 3 e não diferiu entre os tratamentos (dados não apresentados).

A incidência de manchas do tipo *bitter pit* foi consistentemente maior que a das demais desordens dentro de cada pomar (Tabela 26). A incidência destas manchas em frutos infiltrados com Mg^{2+} foi de 31, 53 e 22% nos pomares 1, 2 e 3, respectivamente, sendo aproximadamente 1,5, 5,0 e 2,0 vezes superiores as incidências induzidas pelo método passivo (MP).

O aumento de duas a três vezes na incidência de manchas tipo *bitter pit* em maçãs infiltradas com Mg^{2+} foi reportado por Hopfinger e Poovaiah (1979). Todavia, não são incomuns aumento acentuado desta desordem em frutos infiltrados com Mg^{2+} , como aquele observado no pomar 2. Em maçãs ‘Golden Delicious’, Hopfinger, Poovaiah e Patterson (1984) observaram, após seis meses de armazenagem a 1 °C, incremento de 50% na

incidência de mancha tipo *bitter pit* em frutos infiltrados com Mg^{2+} , comparativamente a frutos controle.

O *bitter pit* é um distúrbio fisiológico associada à deficiência de Ca^{2+} (FERGUSON; VOLZ; WOOLF, 1999). A susceptibilidade dos frutos ao distúrbio é intensificada quando as concentrações de Mg, K e/ou N são altas (HOPFINGER; POOVAIAH, 1979; PERRING, 1986, FERGUSON; VOLZ; WOOLF, 1999; AMARANTE; STEFFENS, ERNANI; 2010; FREITAS et al., 2010). De acordo com Burmeister e Dilley (1994) e Amarante, Ernani e Steffens (2009) a sensibilidade de maçãs à infiltração com Mg^{2+} depende da concentração de Ca^{2+} nos frutos. Quando o teor deste elemento é baixo, o aumento da concentração de Mg^{2+} , induzida pela infiltração, pode acentuar o desequilíbrio da relação Ca^{2+}/Mg^{2+} e a manifestação do distúrbio é intensificada. Este efeito pode ser exacerbado com o aumento da concentração de Mg^{2+} utilizada e, por outro lado, pode ser atenuado se Ca^{2+} for adicionado na solução (BURMEISTER; DILLEY, 1994). Considerando que a concentração de Mg^{2+} foi a mesma nos três pomares e que o método de infiltração pode ser um meio prático para avaliar o conteúdo de Ca^{2+} nos frutos (BURMEISTER; DILLEY, 1994), a maior incidência de manchas tipo *bitter pit* observadas no pomar 2 sugere que frutos deste pomar possuíam menor concentração de Ca^{2+} em relação aos demais pomares estudados e/ou, maior desequilíbrio entre Ca^{2+} e outros nutrientes como o Mg, N e/ou K.

A incidência de manchas marrom (tecido encharcado) foi observada somente em frutos infiltrados com Mg^{2+} e foi máxima (31%) no pomar 2 (Tabela 26). A presença de pontuações de coloração escura no interior destas manchas sugere que a desordem pode estar ligada a deficiência de Ca^{2+} . A análise dos teores minerais da casca dos frutos (AMARANTE; ERNANI; STEFFENS, 2009) poderia confirmar esta hipótese. A presença de tecido encharcado também foi observada em frutos infiltrados com cloreto de

cálcio (FALLAHI; RIGHETTI; WERNZ, 1987), indicando que o dano pode estar relacionado ao processo de infiltração e não ao a baixo conteúdo de Ca^{2+} .

O desenvolvimento de escurecimento carpelar, induzido pelo método de infiltração com Mg^{2+} , foi verificado apenas no pomar 3, sendo a incidência baixa (4%) (Tabela 27). Visualmente, o sintoma desta desordem assemelhou-se a podridão carpelar causada pelo fungo *Botrytis cinera*, o que indicaria a presença de esporos na solução utilizada para a infiltração e/ou a infecção do fruto pelo fungo ainda no pomar. A desinfestação dos frutos com solução contendo hipoclorito de sódio antes da infiltração justificaria a baixa ocorrência do dano em todos os pomares. Todavia, análises para a identificação de doenças não foram realizadas no presente estudo e, por outro lado, a diagnose visual não permitiu confirmar a doença uma vez que tecido sadio foi observado entre a região periférica e o interior do carpelo.

Tabela 26 - Manchas do tipo *bitter pit* e mancha marrom (tipo dano mecânico) em maçãs ‘Honeycrisp’ infiltradas ou não (MP, método passivo) com solução contendo cloreto de magnésio hidratado ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$; Mg^{2+}). Os frutos de ambos os tratamentos foram analisados após a infiltração mais 10 dias a 23 °C.

Pomar	<i>Bitter pit</i> (1-2)		Mancha marrom (1-2)	
	MP ⁽¹⁾	Mg^{2+}	MP	Mg^{2+}
1	1,22 Aa ⁽²⁾	1,31 Ab	1,00 Aa	1,06 Ab
2	1,03 Bc	1,53 Aa	1,00 Ba	1,31 Aa
3	1,11 Ab	1,22 Ac	1,00 Aa	1,02 Ac
Média	1,10	1,33	1,00	1,11
D.padrão	0,30	0,47	0,00	0,32
Efeito	Significância			
Pomar (P)	0,1575		0,0002	
Infiltração (I)	<0,0001		0,0001	
P x I	0,0030		0,0002	

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

⁽¹⁾Tratamento: MP: Método Passivo; Mg^{2+} : Cloreto de magnésio hidratado ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$).

⁽²⁾Letra minúscula na coluna compara efeito de pomar dentro de um mesmo tratamento por meio do teste de Tukey, Letra maiúscula na linha compara efeito de tratamento (MP e Mg^{2+}) dentro de cada pomar por meio do teste F da análise da variância. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si ao nível de significância de 5%.

A desordem identificada como escurecimento calicinar foi encontrada em frutos provenientes dos pomares 2 e 3, sendo significativamente maior em frutos infiltrados com Mg^{2+} (Tabela 27). Frutos com esta sintomatologia sempre apresentaram as manchas concentradas em um mesmo local, indicando um possível efeito tóxico da solução durante o procedimento de vácuo, uma vez que a posição dos frutos dentro do tanque não foi alterada durante todo o processo de infiltração. Entretanto, a desordem também ocorreu em frutos não infiltrados.

Tabela 27 - Escurecimento carpelar e pistilar em maçãs ‘Honeycrisp’ infiltradas ou não (MP, método passivo) com solução contendo cloreto de magnésio hidratado ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$; Mg^{2+}). Os frutos de ambos os tratamentos foram analisados após a infiltração mais 10 dias a 23 °C.

Pomar	Escurecimento carpelar (1-2)		Escurecimento calicinar (1-2)	
	MP ⁽¹⁾	Mg^{2+}	MP	Mg^{2+}
1	1,00 Aa	1,00 Aa	1,00 Aa	1,00 Ac
2	1,00 Aa	1,00 Aa	1,06 Aa	1,22 Ba
3	1,00 Aa	1,04 Aa	1,00 Aa	1,10 Ab
Média	1,00	1,02	1,02	1,11
D.padrão	0,00	0,13	0,15	0,31
Efeito	Significância			
Pomar (P)	0,3602		0,0073	
Infiltração (I)	0,3467		0,0138	
P x I	0,3602		0,1964	

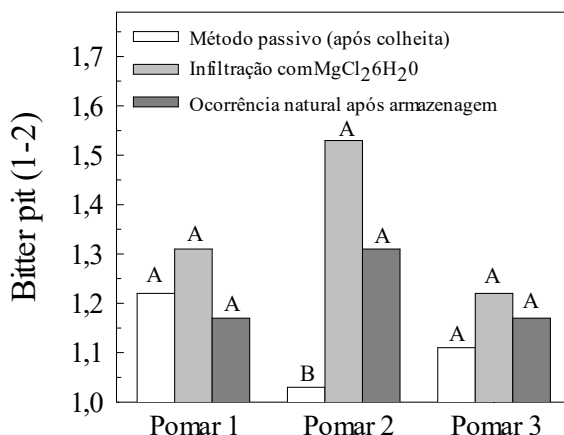
Fonte: produção do próprio autor, 2016.

⁽¹⁾Tratamento: MP: Método Passivo; Mg^{2+} : Cloreto de magnésio hidratado ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$).

⁽²⁾Letra minúscula na coluna compara efeito de pomar dentro de um mesmo tratamento por meio do teste de Tukey, Letra maiúscula na linha compara efeito de tratamento (MP e Mg^{2+}) dentro de cada pomar por meio do teste F da análise da variância. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si ao nível de significância de 5%.

O desenvolvimento natural de *bitter pit* ao longo de quatro meses de armazenagem mais sete dias a 20 °C foi máximo nos frutos do pomar 2 (Figura 22).

Figura 22 - Incidência de *bitter pit* induzidas pelo Método passivo ou de infiltração com Mg^{2+} após a colheita e a ocorrência natural de *bitter pit* em maçãs ‘Honeycrisp’ após quatro meses de armazenagem. Os frutos foram colhidos em 2015 em três pomares comerciais.



Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Barras com letras iguais dentro de cada pomar não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Comparando os dois métodos de indução de *bitter pit* (infiltração com Mg^{2+} e o método passivo; MP) com a ocorrência natural do distúrbio após armazenagem, observou-se que, de maneira geral, ambos os métodos foram eficientes em indicar alta susceptibilidade dos pomares estudados ao desenvolvimento de *bitter pit*. Todavia, independentemente de pomar, os valores obtidos por meio do método de infiltração com Mg^{2+} foram superiores em relação a ocorrência natural de *bitter pit* após armazenagem, sendo estes resultados coerentes com aqueles obtidos por Hopfinger e Poovaiyah (1979), Burmeister e Dilley (1991), Amarante, Ernani e Steffens (2009) e Sestari et al. (2009). Por meio do MP, a incidência de *bitter pit* foi subestimada (pomares 2 e 3) ou superestimada (pomar 1);

entretanto, com exceção do pomar 2, este método também foi eficaz ao indicar alta susceptibilidade dos pomares ao desenvolvimento da desordem durante armazenagem. A maior incidência de *bitter pit* em frutos infiltrados com Mg^{2+} , comparativamente a ocorrência natural, já era esperado, contudo, o aumento acentuado pode estar relacionado com a concentração de Mg^{2+} (0,15 M) empregada no presente estudo, a qual foi superior àquelas recomendadas para diferentes cultivares de maçãs (entre 0,05 e 0,10 M) (AMARANTE; ERNANI; STEFFENS, 2009; RETAMALES et al., 2000; TORRES et al., 2015). Já a baixa incidência da desordem encontrada no pomar 2 pelo MP pode ser associada a elevada incidência de frutos com sintomas de *bitter pit* (25%) durante o período de condicionamento térmico a 10 °C, antes da infiltração. Se contabilizar estes frutos como pertencentes ao MP, partindo do pressuposto que a ocorrência do distúrbio ocorreu naturalmente, a diferença entre este método e o de infiltração seria de aproximadamente duas vezes, coincidindo com os resultados obtidos nos demais pomares e previamente descrito por Hopfinger e Poovaiah (1979), e a diferença entre a incidência do dano obtida pelo MP com aquela de ocorrência natural após armazenagem seria de aproximadamente 3%.

O método de infiltração com Mg^{2+} foi recomendado como alternativa à análise mineral dos frutos (tradicionalmente utilizada por produtores) para a predição da ocorrência de *bitter pit* em maçãs (AMARANTE; ERNANI; STEFFENS, 2009; RETAMALES et al., 2000). De acordo com estes autores, a identificação pré-colheita da susceptibilidade dos frutos a desordem permite que o produtor faça o planejamento da armazenagem destinando os pomares com baixo risco para a longa armazenagem e os de médio/alto risco para a comercialização em curto prazo, reduzindo assim, os riscos de perdas pós-colheita por esta desordem. No Chile, sob condições comerciais, Retamales et al. (2000) consideram pomares com baixo nível de desenvolvimento da desordem aqueles que

apresentam incidência de *bitter pit* induzida pelo método de infiltração com Mg^{2+} inferior a 3%, ao passo que, pomares com incidência igual ou superior a 13% são considerados de alto risco. Com base nestes critérios, os três pomares utilizados no presente estudo seriam classificados como de alto risco e, portanto, deveriam ser segregados para comercialização em curto prazo.

Assim como observado por Torres et al. (2015) em maçãs ‘Golden Smoothie’, os dados do presente estudo indicam que ambos os métodos (infiltração com Mg^{2+} e o MP) podem ser empregados para a determinação do risco de *bitter pit* em maçãs ‘Honeycrisp’. Entretanto, é importante notar que o protocolo para a infiltração de maçãs ‘Honeycrisp’ ainda não está estabelecido (época de amostragem, concentração de Mg^{2+} , intensidade de vácuo e o tempo de exposição a essa condição) e as condições empregadas no presente estudo para indução das desordens foram diferentes daquelas preconizadas para a máxima eficiência do método (AMARANTE; ERNANI; STEFFENS, 2009; RETAMALES et al., 2000; TORRES et al., 2015), especialmente no que tange a época de colheita dos frutos e a concentração de Mg^{2+} na solução.

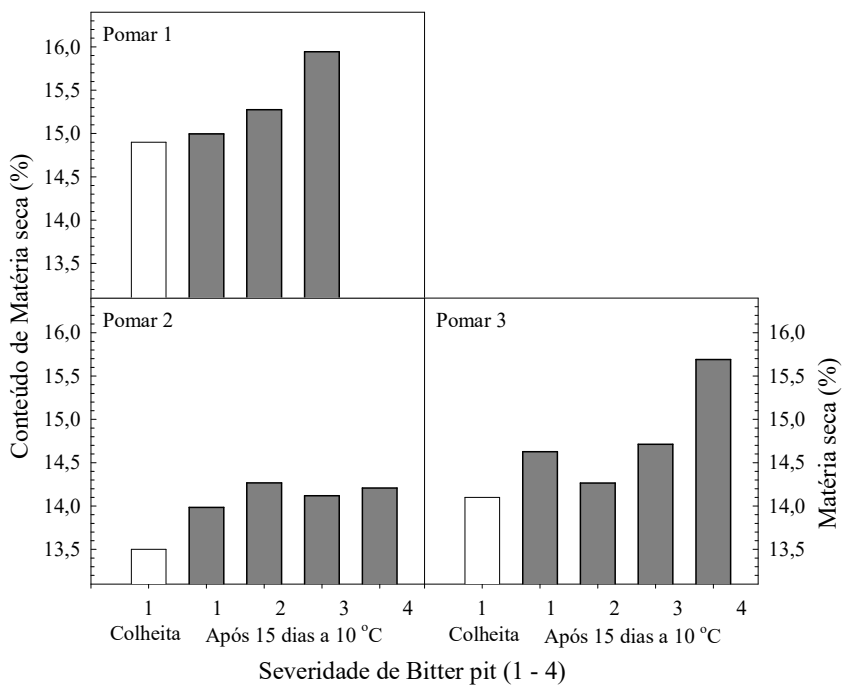
5.4.4 Relação entre o conteúdo de matéria seca (CMS) e ocorrência de *bitter pit*

Na colheita, O CMS dos frutos (sem sintomas visuais de *bitter pit*), variou entre pomares, sendo máximo no pomar 1 e mínimo no pomar 2 (Tabela 25).

Após o período de condicionamento térmico ($10,0 \pm 0,5$ °C por 15 dias), o CMS foi novamente determinado para frutos com diferentes graus de severidade dos sintomas de *bitter pit* (Figura 23). Observou-se que após esse período a 10 °C, o CMS de frutos sem sintomas de *bitter pit* aumentou levemente ($\sim 0,5$) em relação aquele determinado na colheita, em dois dos três pomares (*dados não analisados estatisticamente*). O aumento do

CMS em frutos com sintomas de *bitter pit* foi previamente reportado por Freitas et al. (2010) em maçãs ‘Granny Smith’. De acordo com estes autores, a manifestação do distúrbio caracteriza-se pela perda da permeabilidade seletiva seguida por perda de água, aumentando assim, o CMS. Os resultados obtidos no presente estudo indicam que o aumento do número de manchas por fruto pode intensificar o efeito de perda de massa fresca e assim aumentar o CMS.

Figura 23 - Relação entre o conteúdo de matéria seca (CMS) e a severidade de *bitter pit* (1-4) em maçãs ‘Honeycrisp’ na colheita e após 15 dias a 10 °C. Os frutos foram colhidos em 2015 em três pomares comerciais.

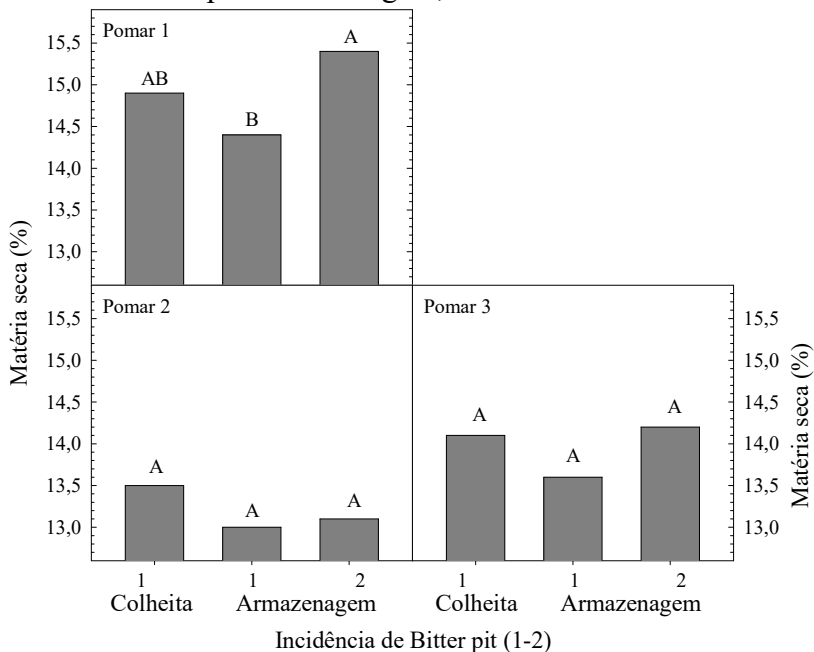


Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Frutos provenientes do pomar com menor CMS na colheita (pomar 2) desenvolveram mais *bitter pit* durante a armazenagem refrigerada e mais sintomas do tipo *bitter pit* induzido pela infiltração com Mg^{2+} (Figura 22). Apesar dessa associação, relações do CMS e incidência de *bitter pit* não têm sido documentadas. Em contraste, em maçãs ‘Golden Delicious’, Wolk et al. (1998) observaram baixa incidência de *bitter pit* e ausência de relação entre CMS e incidência do distúrbio. Adicionalmente, alguns dos fatores pré-colheita que favorecem a incidência de *bitter pit*, como redução do número de frutos por planta e aumento do tamanho dos frutos (PERRING, 1986) proporcionam aumento do acúmulo de matéria seca nos frutos (PALMER; GIULIANI; ADAMS, 1997; SAEI et al., 2011). O *bitter pit* é associado a deficiência de Ca^{2+} , sendo a presença do distúrbio na pré-colheita, sobretudo em frutos do pomar 2, uma evidência do maior desequilíbrio nutricional deste pomar, o que justificaria a maior susceptibilidade ao dano. Além disso, frutos do pomar 2 apresentaram menor cor de fundo na colheita, indicando estágio de maturação atrasado em relação aos demais pomares avaliados (Tabela 25). Assim como para outras cultivares (PERRING, 1986), maçãs ‘Honeycrisp’ colhidas precocemente são mais susceptíveis ao desenvolvimento de *bitter pit* (PRANGE et al., 2011).

O CMS não alterou significativamente durante os quatro meses de armazenagem mais sete dias de prateleira, em relação ao determinado na colheita, independentemente da presença ou não de sintoma de *bitter pit* (Figura 24). No entanto, nos frutos de um dos 3 pomares estudados, o CMS dos frutos com sintoma de *bitter pit* foi maior que o CMS dos frutos sem sintomas. De acordo com Perring (1989), o CMS após a armazenagem pode aumentar ou reduzir em resposta a perda de água pela transpiração ou da perda de matéria seca pelo metabolismo respiratório, respectivamente.

Figura 24 - Variação do conteúdo de matéria seca de maçãs ‘Honeycrisp’ em frutos com (1) e sem (2) sintomas de *bitter pit*. Os frutos foram analisados na colheita e após armazenagem, mais sete dias a 23 °C.



Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Barras seguidas por letras iguais dentro de cada pomar não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Em resumo, os resultados do presente estudo indicam que pomares com alto CMS na colheita possuem maior teor de SS e AT após armazenagem, o que sugere o uso do CMS na colheita como um indicador da qualidade pós-colheita dos frutos. A determinação do CMS em frutos com e sem sintomas de *bitter pit*, na colheita ou após armazenagem, indicou que o CMS pode ser superestimado em frutos com o distúrbio, embora o efeito variou com o pomar e nem sempre foi significativo. Os resultados indicaram que pomares com o menor CMS na

colheita são mais susceptíveis ao desenvolvimento de *bitter pit*, tanto de ocorrência natural quanto induzida pela infiltração com Mg^{2+} . No entanto, a presença de *bitter pit* na colheita no pomar com maior susceptibilidade ao dano e alta sensibilidade ao teste de Mg^{2+} , o qual indiretamente se relaciona com o teor de Ca^{2+} dos frutos, indica que a maior ocorrência do distúrbio pode ser associada ao desequilíbrio nutricional deste pomar. O método de infiltração com magnésio assim como a simples exposição dos frutos a temperatura de 23 °C após a colheita (método passivo) podem ser empregados para determinar os riscos de desenvolvimento da desordem, porém, salienta-se que o protocolo para a máxima eficiência dos métodos testados na predição do risco de *bitter pit* em maçãs ‘Honeycrisp’ ainda precisa ser estabelecido.

5.5 CONCLUSÕES

As relações positivas entre o conteúdo de matéria seca na colheita (CMS) com o teor de sólidos solúveis e com a acidez titulável de maçãs ‘Honeycrisp’ após armazenagem indicam que o CMS pode ser empregado como indicador da qualidade sensorial dos frutos, embora não tenha relação com a firmeza de polpa.

Os métodos de indução de *bitter pit* podem ser empregados na colheita como indicadores do risco de desenvolvimento deste distúrbio durante a armazenagem. Comparativamente ao método de infiltração com magnésio, o método passivo apresenta como principais vantagens a maior facilidade na execução do teste e a ausência de investimentos na aquisição de reagentes e equipamentos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos no presente estudo demonstraram que o conteúdo de matéria seca (CMS) pode ser empregado como indicador do teor de sólidos solúveis (SS) na colheita e após armazenagem, para maçãs clones de ‘Gala’ e ‘Fuji’, quanto para maçãs ‘Honeycrisp’. As relações do CMS com a firmeza de polpa e distúrbios fisiológicos variaram entre os anos com os fatores estudados o que torna o limitado o uso deste atributo como medida complementar ao estágio da maturação dos frutos na colheita na previsão do potencial de armazenagem.

Nos experimentos 1 (‘Fuji’) e 2 (‘Gala’), as relações do CMS com a firmeza de polpa foram influenciadas pelas variações entre os diferentes locais de produção quanto a taxa de conservação da firmeza de polpa. Estes resultados ressaltam a necessidade de estudar os locais separadamente. Além disso, apesar da colheita ter sido realizada em diferentes combinações de clone e portaenxertos, as variações edafoclimáticas e de manejo das plantas foram as mesmas dentro de cada local. A amostragem de frutos em diferentes pomares (variação de solo, microclima, manejo e idade de plantas), dentro de uma mesma região de produção, pode indicar com melhor segurança a possibilidade de uso do CMS como indicador da firmeza de polpa após armazenagem. Em maçãs ‘Honeycrisp’, a relação do CMS com a firmeza de polpa foi significativa somente no estudo em que os frutos foram amostrados em maior número de pomares (Capítulo 4).

No presente estudo, os fatores intensidade de raleio e condições climáticas durante o desenvolvimento dos frutos não foram controlados e estes fatores foram relacionados em diversos estudos com alterações no tamanho, na cinética de maturação e no CMS dos frutos. O monitoramento das condições climáticas durante o desenvolvimento dos frutos, assim como, a padronização do número de frutos por planta, por meio da prática do raleio, poderá identificar as variações entre

locais e/ou portaenxerto quanto ao CMS e as relações do CMS com a qualidade dos frutos.

A incidência de distúrbios fisiológicos foi dependente do estágio de maturação dos frutos na colheita e das condições de armazenagem e, por este motivo, foram melhor relacionados com os atributos de maturação/qualidade na colheita ou após armazenagem, dependendo do distúrbio, do que com o CMS.

Por fim, análises das variações do CMS dentro de um mesmo fruto também foram realizadas, embora não tenham sido apresentadas. Estas análises demonstraram que as estimativas do CMS não diferiram entre o lado do fruto mais exposto ao sol daquela exposta sombra. Porém, o CMS é consistentemente maior na região calicinar e menor na região equatorial (região utilizada para estimar o CMS na maioria dos experimentos). Além disso, dependendo do fruto, o CMS pode ser ligeiramente maior na região peduncular, comparativamente a região equatorial. Portanto, para uma melhor estimativa do CMS, recomenda-se a amostragem dos frutos longitudinalmente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMADI-AFZADI, M.; TAHIR, I. NYBOM, H. Impact of harvesting time and fruit firmness on the tolerance to fungal storage diseases in an apple germplasm collection. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.82, n.1, p.51-58, 2013.

AMARANTE, C.V.T.; ERNANI, P.R.; STEFFENS, C.A. Predição de bitter pit em maçãs ‘Gala’ por meio da infiltração dos frutos com magnésio. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.31, n.4, p.962-968, 2009.

AMARANTE, C.V.T. et al. Alteração da eficiência do 1-MCP com o retardo na sua aplicação após a colheita em maçãs ‘Fuji’. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, n. 4, p. 984-992, 2010.

AMARANTE, C.V.T.; STEFFENS, C.A.; ERNANI, P.R. Identificação pré-colheita do risco de ocorrência de “bitter pit” em maçãs ‘Gala’ por meio de infiltração com magnésio e análise dos teores de cálcio e nitrogênio dos frutos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.32, n.1, p.27-34, 2010.

ARGENTA, L.C.; MONDARDO, M. Maturação na colheita e qualidade de maçãs ‘Gala’ após a armazenagem. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, São Carlos, v.6, n.2, p.135-140, 1994.

ARGENTA, L.C. et al. Padrões de maturação e índices de colheita de maçãs cvs. Gala, Golden Delicious e Fuji. **Pesquisa**

Agropecuária Brasileira, Brasília, v.30, n.10, p.1259-1266, 1995.

ARGENTA, L.C., FAN, X.; MATTHEIS, J. Impact of watercore on gas permeance and incidence of internal disorders in 'Fuji' apples. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.24, n.1, p.113-122, 2002.

ARGENTA, L.C. et al. Ripening and quality of 'Laetitia' plums following harvest and cold storage as affected by inhibition of ethylene action. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.10, p.1139-1148, 2003.

ARGENTA, L.C., FAN, X. MATTHEIS, J.P. Factors affecting efficacy of 1-MCP to maintain quality of apples fruit after storage. **Acta Horticulturae**, Leuven, v.682, p.1249-1255, 2005.

ARGENTA, L.C. et al. AVG and 1-MCP effects on maturity and quality of apple fruit at harvest and after storage. **Acta Horticulturae**, Saltillo, v.727, p.495-504, 2006.

ARGENTA, L.C.; VIEIRA, M.J.; SCOLARO, A.M.T. Conservação da qualidade de caqui 'Fuyu' em ambiente refrigerado pela combinação de 1-MCP e atmosfera modificada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.31, n.2, p.323-333, 2009.

ARGENTA, L.C.; VIEIRA, M.J.; SCOLARO, A.M.T. Validação de catálogos de cores como indicadores do estágio de maturação e do ponto de colheita de maçãs. **Revista Agropecuária catarinense**, Florianópolis, v.23, n.3, p.71-77, 2010.

ARGENTA, L.C. et al. Comparação de maçãs de cultivares mutantes de Gala e de Fuji quanto à maturação e qualidade na colheita e após armazenagem. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE FRUTICULTURA DE CLIMA TEMPERADO, 14., 2015, Fraiburgo. **Anais...Caçador: EPAGRI**, v.1, 2015, p.24-28.

AUTIO, W.R. Rootstock affect ripening and other qualities of 'Delicious' apples. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.116, n.3, p.378-382, 1991.

BANGERTH, K.F. Possible interferences of pre-harvest factors with the storage behaviour and quality of fruit. **Acta Horticulturae**, Weingarten, v. 796, p.19-29, 2008.

BARDEN, J.A.; MARINI, M.E. Maturity and Quality of 'Delicious' Apples as Influenced by Rootstock. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.117, n.4, p.547-550, 1992.

BARTNICKI, V.A. **Maturação e qualidade na colheita e potencial de armazenamento de maçãs clones mutantes de 'Gala' sobre dois portaenxertos**. 2014. 102 f. Tese (Doutorado) – Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, Lages, 2014.

BLANKENSHIP, S.M.; DOLE, J.M. 1-Methylcyclopropene: a review. *Postharvest Biology and Technology*, Amsterdam, v.28, n.1, p.1-25, 2003.

BOWEN, J.H.; WATKINS, C.B. Fruit maturity, carbohydrate and mineral content with watercore in 'Fuji' apples. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.11, n.1, p.31-38, 1997.

BRACKMANN, A. et al. Temperatura, atmosfera controlada e 1-metilciclopropeno no controle da maturação de caqui 'Fuyu'. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.14, n.2, p.319-325, 2008.

BROOKFIELD, P. et al. Starch degradation and starch pattern indices; interpretation and relationship to maturity. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.11, n.1, p.23-30, 1997.

BURMEISTER, D.M.; DILLEY, D.R. Induction of bitter pit-like symptoms on apples by infiltration with Mg^{+2} is attenuated by Ca^{+2} . **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.1, n.1, p.11-17, 1991.

BURMEISTER, D.M.; DILLEY, D.R. Characterization of Mg^{2+} induced bitter pit like symptoms on apples: a model system to study bitter pit initiation and development. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.41, n. 4, p.1203-1207, 1993.

BURMEISTER, D.M.; DILLEY, D.R. Correlation of bitter pit on Northern Spy apples with bitter pit like symptoms induced by Mg^{2+} salt infiltration. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.4, n.4, p.301-308, 1994.

CONWAY, W.S.; SAMS, C.E. Influence of fruit maturity on the effect of postharvest calcium treatment on decay of Golden Delicious apples. **Plant Disease**, Beltsville, v.69, n.1, p.42-44, 1985.

CORRÊA, T.R. et al. Composição mineral, qualidade e degenerescência de polpa de maçãs 'Fuji' em diferentes porta-enxertos durante armazenamento em atmosfera controlada.

Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal, v.34, n.1, p.33-40, 2012.

CRISOSTO, C.H. et al. Is Dry Matter a Reliable Quality Index for 'Hayward' Kiwifruit? **Acta Horticulturae**, Faenza, v.913, p.531-534, 2011.

CRISOSTO, G.M.; HASEY, J. ZEGBE, J.A.; CRISOSTO, C.H. New quality index based on dry matter and acidity proposed for Hayward kiwifruit. **California Agriculture**, California, v.66, n.2, p.70-75, 2012.

DeELL, J.R. Postharvest quality of 'Honeycrisp' apples. In: Annual Tree Fruit Postharvest Conference/Annual Washington State Horticultural Association Meeting, 21/101, 2005, Wenatchee, **Proceeding...** Wenatchee: WSU-TFREC, 2005, p.162-163.

DeELL, J.R., AYRES, J.T.; MURR, D.P. 1-Methylcyclopropene influences 'Empire' and 'Delicious' apple quality during long-term storage. **HortTechnology**, Alexandria, v.17, n.1, p.46-51, 2007.

DeELL, J.R.; EHSANI-MOGHADDAM, B. Preharvest 1-methylcyclopropene treatment reduces soft scald in 'Honeycrisp' apples during storage. **HortScience**, Alexandria, v.45, n.3, p.414-417, 2010.

DeELL, J.R.; LUM, G.B.; EHSANI-MOGHADDAM, B. Effects of delayed controlled atmosphere storage on disorder development in 'Honeycrisp' apples. **Canadian Journal of Plant Science**, Toronto, v.96, n.4, p.621-629, 2016.

DeLONG, J.M.; PRANGE, R.K.; HARRISON, P.A. The influence of pre-storage delayed cooling on quality and

disorder incidence of 'Honeycrisp' apple fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.33, n.2, p.175-180, 2004.

DeLONG, J.M. et al. The influence of crop-load, delayed cooling and storage atmosphere on post-storage quality of 'Honeycrisp'TM apples. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, Abingdon, v.81, n.3, p.391-396, 2006.

DRAKE, S.R. et al. Maturity, storage quality, carbohydrate, and mineral content of 'Goldspur' apples as influenced by rootstock. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.113, n.6, p.949-952, 1988.

EBERT, A; STUKER, H. Comportamento de maçãs da cultivar Golden Delicious em frigoconservação convencional e atmosfera controlada no Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.11, n.2, p.7-15, 1989.

FALLAHI, E.; RIGHETTI, T.L.; WERNZ, J.G. Effects of dip and vacuum infiltrations of various inorganic chemicals on post-harvest quality of apple. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Athens, v.18, n.9, p.1017-1029, 1987.

FALLAHI, E. et al. Effects of three rootstocks on photosynthesis, leaf mineral nutrition, and vegetative growth of 'BC-2 Fuji' apple tree. **Journal of Plant Nutrition**, Athens, v.24, n.6, p.827-834, 2001.

FALLAHI, E. et al. The importance of apple rootstock on tree growth, yield, fruit quality, leaf nutrition, and photosynthesis with an emphasis on 'Fuji'. **HortTechnology**, Alexandria, v.12, n.1, p.38-44, 2002.

FAMIANI, F. et al. Yield affects qualitative kiwifruit characteristics and dry matter content may be an indicator of both quality and storability. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.146, n.1, p.124-130, 2012.

FAN, X.; MATTHEIS, J.P.; BLANKENSHIP, S.M. Development of apple superficial scald, soft scald, core flush, and greasiness is reduced by MCP. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.47, n.8, p.3063-3068, 1999.

FAN, X.; ARGENTA, L.C.; MATTHEIS, J.P. Interactive effects of 1-MCP and temperature on 'Elberta' peach quality. **Hortscience**, Alexandria, v.37, n.1, p.134-138, 2002.

FERGUSON, J.E.; WATKINS, C.B. Bitter pit in apple fruit. **Horticultural Reviews**, Hoboken, v.11, p.289-355, 1989.

FERGUNSON, I.; VOLZ, R.; WOOLF, A. Preharvest factors affecting physiological disorders of fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.15, n.3, p.255-262, 1999.

FIORAVANÇO, J.C., Precocidade de produção de cultivares sobre dois porta-enxertos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.37, n.7, p.676-684, 2015.

FREITAS, S.T.et al. Cellular approach to understand bitter pit development in apple fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.57, n.1, p.6-13, 2010.

GAMBLE, J.et al. The impact of dry matter, ripeness and internal defects on consumer perceptions of avocado quality and intentions to purchase. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.57, n.3, p.35-43, 2010.

HARKER, F.R.; HALLETT, I.C. Physiological Changes Associated with Development of Mealiness of apple fruit during cool storage. **HortScience**, Alexandria, v.27, n.12, p.1291-1294, 1992.

HARKER, F.R. et al. Sensory interpretation of instrumental measurements 1: texture of apple fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.24, n.3, p.225-239, 2002.

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**, Amsterdam, v.28, n.3, p.333-347, 2003.

HARKER, F.R. et al. Eating quality standards for apples based on consumer preferences. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.50, n.1, p.70-78, 2008.

HOPFINGER, J.A.; POOVAIAH, B.W. Calcium and magnesium gradients in apples with bitter pit. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.10, n.1, p.57-65, 1979.

HOPFINGER, J.A.; POOVAIAH, B.W.; PATTERSON, M.E. Calcium and magnesium interactions in browning of 'Golden Delicious' apples with bitter pit. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.23, n.3, p.345-351, 1984.

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

JOHNSTON, J.W.; HEWETT, E.W.; HERTOOG, M.A.T.M. Postharvest softening of apple (*Malus domestica*) fruit: a

- review. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, Singapore, v.30, n.3, p.145-160, 2002.
- JORDAN, R.B. et al. Postharvest fruit density as an indicator of dry matter and ripened soluble solids of kiwifruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.20, n.2, p.163-173, 2000.
- LACHAPELLE, M. et al. Modeling the effect of preharvest weather conditions on the incidence of soft scald in 'Honeycrisp' apples. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.85, n.1, p.57-66, 2013.
- LEE, J.; MATTHEIS, J.P.; RUDELL, D. Fruit Size Affects Physiological Attributes and Storage Disorders in Cold-stored 'Royal Gala' Apples. **HortScience**, Alexandria, v.48, n.12, p.1518-1524, 2013.
- LURIE, S.; CRISOSTO, C.H. Chilling injury in peach and nectarine. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.37, n.3, p.195-208, 2005.
- LURIE, S.; WATKINS, C.B. Superficial scald, its etiology and control. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.65, n.1, p.44-60, 2012.
- McGLONE, V.A. et al. Dry matter – a better predictor of the post storage soluble-solids in apples? **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.28, p.431-435, 2003.
- MIR, N. et al. Chlorophyll fluorescence in relation to superficial scald development in apple. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.123, n.5, p.887-892, 1998.

Apple Quality Testing in Five Market Centers Using the MDT-1 Agricultural Penetrometer. **Mohr and Associates, Inc.** Disponível em: <<http://www.mohr-engineering.com/documents/apstddy823nsbtedt4b-2.pdf>>. Acesso em 11 jan. 2016.

MORAN, R.E.; DeELL, J.R.; HALTEMAN, W. Effects of preharvest precipitation, air temperature and humidity on the occurrence of soft scald in 'Honeycrisp' apples. **HortScience**, Alexandria, v.44, n.12, p.1645-1647, 2009.

PADDA, M.S. et al. Methods to analyze physico-chemical changes during mango ripening: A multivariate approach. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.62, n.3, p.267-274, 2011.

PAK, H.A.; DIXON, J.; CUTTING, J.G.M. Influence of early season maturity on fruit quality in New Zealand 'Hass' avocados. **New Zealand Avocado Growers Association Annual Research Report**, Tauranga, v.3, p.54-59, 2003.

PALMER, J.W. Apples and kiwifruit, can we learn from each other? **Acta Horticulturae**, Rotorua, v.753, p.359-368, 2007.

PALMER, J.W. et al. Fruit dry matter concentration: a new quality metric for apples. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Oxford, v.90, n.15, p.2586-2594, 2010.

PERRING, M.A.; PEARSON, K.; MARTIN, K.J. The distribution of calcium in apples with senescent breakdown. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Oxford, v.36, n.11, p.1035-1038, 1985.

PERRING, M.A. Incidence of Bitter Pit in Relation to the Calcium Content of Apples: Problems and Paradoxes, a

Review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Oxford, v.37, n.7, p.591-606, 1986.

PERRING, M.A. Changes in Dry Matter Concentration Gradients in Stored Apples. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Oxford, v.46, n.4, p.439-449, 1989.

PETRI, J.L. et al. Avanços na cultura da macieira no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.33, Edição especial, p.48-56. 2011.

PLOTTO, A. et al. ‘Gala’, ‘Braeburn’ and ‘Fuji’ apples: maturity indices and quality after storage. **Fruit Varieties Journal**, University Park, v.49, n.3, p.133-142, 1995.

POOVAIAH, B.W. Biochemical and molecular aspects of calcium action. **Acta Horticulturae**, Saint Truiden, v.326, p. 139-147, 1993.

PRANGE, R.K. et al. Oxygen concentration affects chlorophyll fluorescence in chlorophyll-containing fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.24, n.2, p.201–205, 2002.

PRANGE, R.K.; DeLONG, J.M.; WRIGHT, A.H. Chlorophyll fluorescence: application in postharvest horticulture. **Chronica horticulturae**, v.50, n.1, p.13-15, 2010.

PRANGE, R.K. et al. Effect of fruit maturity in the incidence of bitter pit, senescent breakdown, and other post-harvest disorders in ‘Honeycrisp’ apple. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, Abingdon, v.86, n.3, p.245-248, 2011.

RETAMALES, J.B. et al. Bitter pit prediction in apples through Mg infiltration. **Acta Horticulturae**, Brussels, v.512, p.169-179, 2000.

ROBINSON, T.L.; WATKINS, C.B. Cropload of Honeycrisp affects not only fruit size but many quality attributes. **New York Fruit Quarterly**, New York, v.11, n.3, p.7-10, 2003.

SAEI, A. et al. Cropping effects on the loss of apple fruit firmness during storage: The relationship between texture retention and fruit dry matter concentration. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.130, n.1, p.256-265, 2010.

SAKS, Y.; SONEGO, L.; BEN-ARIE, R. Senescent breakdown of 'Jonathan' apples in relation to the water-soluble calcium content of the fruit pulp before and after storage. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.115, n.4, p. 615-618, 1990.

SALO, M.L.; KORHONEN, I. Carbohydrate and acid composition of some apple varieties. **Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland**, Helsinki, v.44, n.1, p.63-67, 1972.

SAMS, C.E. Pre-harvest factors affecting postharvest texture. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.15, n.2, p.249-254, 1999.

SCHECHTE, I.; PROCTOR, J.T.A.; ELFVING, D.C. Reappraisal of seasonal apple fruit growth. **Canadian Journal of Plant Science**, Toronto, v.73, n.2, p.549-546, 1993a.

SCHECHTE, I.; PROCTOR, J.T.A.; ELFVING, D.C. Characterization of seasonal fruit growth of 'Idared' apple.

Canadian Journal of Plant Science, Toronto, v.54, n.1, p.203-210, 1993b.

SESTARI, I. et al. Métodos para predição de *bitter pit* em maçãs 'Fuji' e 'Braeburn'. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.4, p.1032-1038, 2009.

SHARPLES, R.; JONHSON, D. Influence of agronomic and climatic factors on the response of apple fruit to controlled atmosphere. **HortScience**, Alexandria, v.22, n.5, p.763-766, 1987.

SMILLIE, R.M. et al. Application of chlorophyll fluorescence to the postharvest physiology and storage of mango and banana fruit and the chilling tolerance of mango cultivars. **Asean Food Journal**, v.3, p.55-59, 1987.

SNELGAR, W.P. et al. Temperature influences growth and maturation of fruit on 'Hayward' kiwifruit vines. **Functional Plant Biology**, Clayton South, v.32, n.7, p.631-642, 2005.

SONG, J. et al. Changes in chlorophyll fluorescence of apple fruit during maturation, ripening, and senescence. **HortScience**, Alexandria, v.32, n.5, p.891-896, 1997.

SPOTTS, R.A.; CERVANTES, L.A.; MIELKE, E.A. Variability in Postharvest Decay Among Apple Cultivars. **Plant Disease**, v.83, n.11, p.1051-1054, 1999.

STELL, R.G.D; TORRIE, J.H. **Principles and procedures on statistics: a biometrical approach**. New York: McGraw-Hill, 1960. 631p.

TONG, C.B.S. et al. Comparison of softening related changes during storage of 'Honeycrisp' apple, its parents, and

'Delicious'. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.124, n.4, p.407-415, 1999.

TONG, C.B.S. et al. Location and temperature effects on soft scald in 'Honeycrisp' apples. **HortScience**, Alexandria, v.38, n.6, p.1153-1155, 2003.

TORRES, E. et al. Induction of symptoms pre-harvest using the 'passive method': An easy way to predict bitter pit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.101, n.1, p.66-72, 2015.

VALDEBENITO-SANHUEZA, R.M.; MAFFIOLETTI, M.; COMPARIM, C.C.; KRASNIAK, J.; BOGO, A.; ARCARI, R. **Características e controle da podridão "olho de boi" nas maçãs do Sul do Brasil**. Bento Gonçalves: EMBRAPA-CNPUV, 2006. 12p. (Circular Técnica, 66).

VELEMIS, D.; VASILAKAKIS, M.; MANOLAKIS, E. Effect of dry matter content of the kiwifruit at harvest on storage performance and quality. **Acta Horticulturae**, Thessaloniki, v.444, n.2, p.637-642, 1997.

WALKER, M.A. et al. A Chlorophyll Fluorescence Screening Test to Evaluate Chilling Tolerance in Tomato. **HortScience**, v.25, n.3, p.334-339, 1990.

WATKINS, C.B. et al. Storage temperature, diphenylamine, and pre-storage delay effects on soft scald, soggy breakdown and bitter pit of 'Honeycrisp' apples. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.32, n.2, p.213-221, 2004.

WATKINS, C.B. et al. Harvest date effects on maturity, quality, and storage disorders of 'Honeycrisp' apples. **HortScience**, Alexandria, v.40, n.1, p.164-169, 2005.

WATKINS, C.B. An overview of 1-methylcyclopropene trials and uses for edible horticultural crops. **HortScience**, Alexandria, v.43, n.1, p.86-94, 2008.

WARGO, J.M.; WATKINS, C.B.; Maturity and quality of 'Honeycrisp' apples. **HortTechnology**, Alexandria, v.14, n.4, p.496-499, 2004.

WOLK, W.D. et al. Factors and time of sample collection for correlating storage potential of 'McIntosh', 'Spartan', and 'Golden Delicious' Apples. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.123, n.1, p.104-109, 1998.

WOODWARD, T.J.; CLEARWATER, M.J. Relationships between 'Hayward' kiwifruit weight and dry matter content. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.48, n.3, p.378-382, 2008.

WÜNSCHE, J.N.; LAKSO, A.N. Apple tree physiology implication for orchard and tree management. **The Compact Fruit Tree**, Chesterfield, v.33, n.3, p.82-88, 2000.

WÜNSCHE, J.N. et al. Physiological and biochemical leaf and tree responses to crop load in apple. **Tree Physiology**, Oxford, v.25, n.10, p.1253-1263, 2005.

APÊNDICE

APÊNDICE A - Comparação, por meio do teste $t^{(1)}$, entre os coeficientes de regressão linear (b)⁽²⁾, tomado dois a dois, das equações de regressão ajustadas para as variáveis firmeza de polpa, teor de sólidos solúveis e conteúdo de matéria seca durante a evolução da maturação de maçãs ‘Mishima’ (MIS), ‘Fuji Select’ (SEL) e ‘Fuji Suprema’ (FUS). Os frutos foram colhidos em intervalos de 14 dias em Caçador (CDR), São Joaquim (SJ) e Vacaria (VAC) e, em cada local, em macieiras enxertadas sobre Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) ou M-9 (M9). (Continua).

Local	Clone	MKM9			M9		
		<i>b</i> MIS	<i>b</i> SEL	<i>b</i> FUS	<i>b</i> MIS	<i>b</i> SEL	<i>b</i> FUS
<i>Firmeza de polpa (lb)</i>							
CDR	<i>b</i> MIS	-			-		
	<i>b</i> SEL	0,895 ^l	-		0,077	-	
	<i>b</i> FUS	0,571	3,297	-	0,075	0,154	-
SJ	<i>b</i> MIS	-			-		
	<i>b</i> SEL	2,969	-		0,080	-	
	<i>b</i> FUS	1,062	4,415	-	0,147	0,154	-
VAC	<i>b</i> MIS	-			-		
	<i>b</i> SEL	0,745	-		0,217	-	
	<i>b</i> FUS	0,258	1,695	-	0,238	0,394	-
<i>Teor de sólidos solúveis (%)</i>							
CDR	<i>b</i> MIS	-			-		
	<i>b</i> SEL	0,000	-		0,142	-	
	<i>b</i> FUS	0,274	0,144	-	0,140	0,000	-
SJ	<i>b</i> MIS	-			-		
	<i>b</i> SEL	1,005	-		0,000	-	
	<i>b</i> FUS	0,200	1,342	-	1,217	1,223	-
VAC	<i>b</i> MIS	-			-		
	<i>b</i> SEL	0,369	-		0,432	-	
	<i>b</i> FUS	0,000	0,451	-	0,895	0,283	-

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

⁽¹⁾Valores calculados de t (interior da tabela) inferiores ao t tabelado ($t = 4,303$), para cada combinação de portaenxerto e local, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade.

⁽²⁾Os coeficientes b foram obtidos a partir das equações de regressão apresentadas no Apêndice B.

APÊNDICE A - Comparação, por meio do teste $t^{(1)}$, entre os coeficientes de regressão linear (b)⁽²⁾, tomado dois a dois, das equações de regressão ajustadas para as variáveis firmeza de polpa, teor de sólidos solúveis e conteúdo de matéria seca durante a evolução da maturação de maçãs ‘Mishima’ (MIS), ‘Fuji Select’ (SEL) e ‘Fuji Suprema’ (FUS). Os frutos foram colhidos em intervalos de 14 dias em Caçador (CDR), São Joaquim (SJ) e Vacaria (VAC) e, em cada local, em macieiras enxertadas sobre Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) ou M-9 (M9). (Conclusão).

Local	Clone	MKM9			M9		
		<i>b</i> MIS	<i>b</i> SEL	<i>b</i> FUS	<i>b</i> MIS	<i>b</i> SEL	<i>b</i> FUS
<i>Conteúdo de matéria seca (%)</i>							
CDR	<i>b</i> MIS	-			-		
	<i>b</i> SEL	0,055	-		0,023	-	
	<i>b</i> FUS	0,000	0,007	-	0,057	0,034	-
SJ	<i>b</i> MIS	-			-		
	<i>b</i> SEL	0,646	-		0,000	-	
	<i>b</i> FUS	1,200	0,055	-	1,521	1,529	-
VAC	<i>b</i> MIS	-			-		
	<i>b</i> SEL	0,708	-		0,402	-	
	<i>b</i> FUS	0,699	0,459	-	0,348	0,071	-

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

⁽¹⁾Valores calculados de t (interior da tabela) inferiores ao t tabelado ($t = 4,303$), para cada combinação de portaenxerto e local, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade.

⁽²⁾Os coeficientes b foram obtidos a partir das equações de regressão apresentadas no Apêndice B.

APÊNDICE B - Modelos lineares e quadráticos para variações da firmeza de polpa (FP), teor de sólidos solúveis (SS), índice de iodo amido (IA) e conteúdo de matéria seca (CMS) durante a evolução da maturação de maçãs ‘Mishima’, ‘Fuji Select’ e ‘Fuji Suprema’. Os frutos foram colhidos em intervalos de 14 dias em Caçador, Vacaria e São Joaquim em macieiras enxertadas sobre Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) ou M-9 (M9). (Continua).

Variável	Clone/Portaenxerto	Modelo	R ²
Caçador			
FP (lb)	Mishima/M9	$Y = 26,9 - 0,85x^{***}$	0,75
	Select/M9	$Y = 25,7 - 0,84x^{***}$	0,77
	Fuji Suprema/M9	$Y = 26,4 - 0,86x^{***}$	0,80
	Mishima/MKM9	$Y = 27,3 - 0,89x^{***}$	0,71
	Select/MKM9	$Y = 28,3 - 0,98x^{***}$	0,81
	Fuji Suprema/MKM9	$Y = 27,5 - 0,84x^{***}$	0,71
SS (%)	Mishima/M9	$Y = 7,71 + 0,60x^{***}$	0,95
	Select/M9	$Y = 7,25 + 0,64x^{***}$	0,94
	Fuji Suprema/M9	$Y = 7,35 + 0,64x^{***}$	0,96
	Mishima/MKM9	$Y = 7,88 + 0,64x^{***}$	0,92
	Select/MKM9	$Y = 7,82 + 0,64x^{***}$	0,97
	Fuji Suprema/MKM9	$Y = 7,94 + 0,66x^{***}$	0,95
IA (1-9)	Mishima/M9	$Y = 1,73 - 0,37x^{**} + 0,05x^{2***}$	0,61
	Select/M9	$Y = 1,76 - 0,41x^{***} + 0,05x^{2***}$	0,68
	Fuji Suprema/M9	$Y = 2,15 - 0,53x^{***} + 0,06x^{2***}$	0,66
	Mishima/MKM9	$Y = 2,14 - 0,56x^{***} + 0,06x^{2***}$	0,69
	Select/MKM9	$Y = 2,43 - 0,69x^{***} + 0,07x^{2***}$	0,71
	Fuji Suprema/MKM9	$Y = 1,22 - 0,17x^{NS} + 0,04x^{2***}$	0,51

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Coefficiente angular não significativo (ns) ou significativo a 5(*), 1(**) e 0,1%(***).

APÊNDICE B - Modelos lineares e quadráticos para variações da firmeza de polpa (FP), teor de sólidos solúveis (SS), índice de iodo amido (IA) e conteúdo de matéria seca (CMS) durante a evolução da maturação de maçãs ‘Mishima’, ‘Fuji Select’ e ‘Fuji Suprema’. Os frutos foram colhidos em intervalos de 14 dias em Caçador, Vacaria e São Joaquim em macieiras enxertadas sobre Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) ou M-9 (M9). (Continua).

Variável	Clone/Portaenxerto	Modelo	R ²
Caçador			
CMS (%)	Mishima/M9	$Y = 14,1 + 0,17x^{***}$	0,31
	Select/M9	$Y = 13,7 + 0,15x^{***}$	0,22
	Fuji Suprema/M9	$Y = 13,5 + 0,20x^{***}$	0,41
	Mishima/MKM9	$Y = 14,7 + 0,15x^{***}$	0,19
	Select/MKM9	$Y = 14,9 + 0,14x^{***}$	0,20
	Fuji Suprema/MKM9	$Y = 15,3 + 0,15x^{***}$	0,24
São Joaquim			
FP (lb)	Mishima/M9	$Y = 29,2 - 1,02x^{***}$	0,87
	Select/M9	$Y = 28,8 - 1,04x^{***}$	0,86
	Fuji Suprema/M9	$Y = 29,3 - 1,06x^{***}$	0,92
	Mishima/MKM9	$Y = 29,8 - 1,07x^{***}$	0,85
	Select/MKM9	$Y = 26,8 - 0,86x^{***}$	0,72
	Fuji Suprema/MKM9	$Y = 28,6 - 0,99x^{***}$	0,88
SS (%)	Mishima/M9	$Y = 7,52 + 0,61x^{***}$	0,97
	Select/M9	$Y = 7,40 + 0,61x^{***}$	0,97
	Fuji Suprema/M9	$Y = 7,47 + 0,57x^{***}$	0,91
	Mishima/MKM9	$Y = 7,94 + 0,60x^{***}$	0,97
	Select/MKM9	$Y = 7,81 + 0,55x^{***}$	0,94
	Mishima/M9	$Y = 7,52 + 0,61x^{***}$	0,97

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Coefficiente angular não significativo (ns) ou significativo a 5(*) , 1(**) e 0,1%(***).

APÊNDICE B - Modelos lineares e quadráticos para variações da firmeza de polpa (FP), teor de sólidos solúveis (SS), índice de iodo amido (IA) e conteúdo de matéria seca (CMS) durante a evolução da maturação de maçãs ‘Mishima’, ‘Fuji Select’ e ‘Fuji Suprema’. Os frutos foram colhidos em intervalos de 14 dias em Caçador, Vacaria e São Joaquim em macieiras enxertadas sobre Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) ou M-9 (M9). (Continua).

Variável	Pomar	Modelo	R ²
São Joaquim			
IA (1-9)	Mishima/M9	$Y = 1,66 - 0,54x^{***} + 0,07x^{2***}$	0,91
	Select/M9	$Y = 1,92 - 0,57x^{***} + 0,07x^{2***}$	0,83
	Fuji Suprema/M9	$Y = 1,63 - 0,53x^{***} + 0,07x^{2***}$	0,89
	Mishima/MKM9	$Y = 1,62 - 0,51x^{***} + 0,07x^{2***}$	0,92
	Select/MKM9	$Y = 1,59 - 0,44x^{***} + 0,06x^{2***}$	0,86
	Fuji Suprema/MKM9	$Y = 1,81 - 0,62x^{***} + 0,07x^{2***}$	0,90
CMS (%)	Mishima/M9	$Y = 14,0 + 0,09x^{***}$	0,13
	Select/M9	$Y = 14,0 + 0,09x^{***}$	0,15
	Fuji Suprema/M9	$Y = 14,3 + 0,04x^*$	0,02
	Mishima/MKM9	$Y = 14,7 + 0,06x^{**}$	0,05
	Select/MKM9	$Y = 13,7 + 0,11x^{***}$	0,13
	Fuji Suprema/MKM9	$Y = 13,7 + 0,12x^{***}$	0,22
Vacaria			
FP (lb)	Mishima/M9	$Y = 28,9 - 1,16x^{***}$	0,80
	Select/M9	$Y = 28,0 - 1,13x^{***}$	0,79
	Fuji Suprema/M9	$Y = 29,7 - 1,20x^{***}$	0,83
	Mishima/MKM9	$Y = 29,3 - 1,21x^{***}$	0,82
	Select/MKM9	$Y = 28,4 - 1,10x^{***}$	0,78
	Fuji Suprema/MKM9	$Y = 29,3 - 1,17x^{***}$	0,85

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Coefficiente angular não significativo (^{ns}) ou significativo a 5(*), 1(**) e 0,1%(***).

APÊNDICE B - Modelos lineares e quadráticos para variações da firmeza de polpa (FP), teor de sólidos solúveis (SS), índice de iodo amido (IA) e conteúdo de matéria seca (CMS) durante a evolução da maturação de maçãs ‘Mishima’, ‘Fuji Select’ e ‘Fuji Suprema’. Os frutos foram colhidos em intervalos de 14 dias em Caçador, Vacaria e São Joaquim em macieiras enxertadas sobre Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) ou M-9 (M9). (Conclusão).

Variável	Pomar	Modelo	R ²
Vacaria			
SS (%)	Mishima/M9	$Y = 7,76 + 0,52x^{***}$	0,91
	Select/M9	$Y = 7,03 + 0,58x^{***}$	0,88
	Fuji Suprema/M9	$Y = 7,18 + 0,61x^{***}$	0,92
	Mishima/MKM9	$Y = 7,94 + 0,55x^{***}$	0,88
	Select/MKM9	$Y = 7,96 + 0,58x^{***}$	0,91
	Fuji Suprema/MKM9	$Y = 7,87 + 0,55x^{***}$	0,92
IA (1-9)	Mishima/M9	$Y = 1,67 - 0,53x^{***} + 0,07x^{2***}$	0,83
	Select/M9	$Y = 2,18 - 0,76x^{***} + 0,09x^{2***}$	0,79
	Fuji Suprema/M9	$Y = 1,79 - 0,56x^{***} + 0,07x^{2***}$	0,80
	Mishima/MKM9	$Y = 1,60 - 0,49x^{***} + 0,07x^{2***}$	0,87
	Select/MKM9	$Y = 1,70 - 0,57x^{***} + 0,08x^{2***}$	0,88
	Fuji Suprema/MKM9	$Y = 1,73 - 0,62x^{***} + 0,09x^{2***}$	0,88
CMS (%)	Mishima/M9	$Y = 14,8 - 0,07x^*$	0,04
	Select/M9	$Y = 14,1 - 0,01x^{ns}$	0,00
	Fuji Suprema/M9	$Y = 15,1 - 0,02x^{ns}$	0,00
	Mishima/MKM9	$Y = 14,6 + 0,01x^{ns}$	0,00
	Select/MKM9	$Y = 15,2 - 0,04x^{ns}$	0,01
	Fuji Suprema/MKM9	$Y = 14,9 + 0,07x^{**}$	0,05

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Coefficiente angular não significativo (^{ns}) ou significativo a 5(^{*}), 1(^{**}) e 0,1%(^{***}).

APÊNDICE C - Modelos lineares e quadráticos para variações da firmeza de polpa, sólidos solúveis, índice de iodo amido e matéria seca durante a evolução da maturação de maçãs ‘Galaxy’, ‘Imperial Gala’, ‘Maxi Gala’ e ‘Royal Gala’. Os frutos foram colhidos semanalmente durante 5 semanas em Caçador e Vacaria e seis semanas em São Joaquim em macieiras enxertadas sobre Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) ou M-9 (M9). (Continua).

Variável	Clone/Portaenxerto	Modelo	R ²
Caçador			
FP (lb)	Galaxy+M9	$Y = 24,2 - 1,20x^{***}$	0,45
	Imperial Gala+M9	$Y = 27,3 - 1,35x^{***}$	0,47
	Maxi Gala+M9	$Y = 24,9 - 1,11x^{***}$	0,36
	Royal Gala+M9	$Y = 26,0 - 1,26x^{***}$	0,48
	Galaxy+MKM9	$Y = 26,4 - 1,25x^{***}$	0,42
	Imperial Gala+MKM9	$Y = 26,1 - 1,19x^{***}$	0,33
	Maxi Gala+MKM9	$Y = 26,1 - 1,24x^{***}$	0,41
	Royal Gala+MKM9	$Y = 25,4 - 1,22x^{***}$	0,40
SS (%)	Galaxy+M9	$Y = 7,3 + 0,97x^{***}$	0,88
	Imperial Gala+M9	$Y = 7,4 + 0,93x^{***}$	0,88
	Maxi Gala+M9	$Y = 7,8 + 0,87x^{***}$	0,86
	Royal Gala+M9	$Y = 7,7 + 0,90x^{***}$	0,86
	Galaxy+MKM9	$Y = 7,5 + 0,97x^{***}$	0,87
	Imperial Gala+MKM9	$Y = 7,4 + 1,08x^{***}$	0,86
	Maxi Gala+MKM9	$Y = 8,1 + 0,91x^{***}$	0,87
	Royal Gala+MKM9	$Y = 7,4 + 1,02x^{***}$	0,90
IA (1-9)	Galaxy+M9	$Y = 1,05 - 0,36x^{ns} + 0,14x^{2*}$	0,38
	Imperial Gala+M9	$Y = 1,7 - 0,57x^{ns} + 0,11x^{2**}$	0,29
	Maxi Gala+M9	$Y = 1,5 - 0,59x^{ns} + 0,14x^{2*}$	0,25
	Royal Gala+M9	$Y = 0,8 - 0,04x^{ns} + 0,05x^{2ns}$	0,22

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Coefficiente angular não significativo (ns) ou significativo a 5(*) , 1(**) e 0,1%(***).

APÊNDICE C - Modelos lineares e quadráticos para variações da firmeza de polpa, sólidos solúveis, índice de iodo amido e matéria seca durante a evolução da maturação de maçãs ‘Galaxy’, ‘Imperial Gala’, ‘Maxi Gala’ e ‘Royal Gala’. Os frutos foram colhidos semanalmente durante 5 semanas em Caçador e Vacaria e seis semanas em São Joaquim em macieiras enxertadas sobre Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) ou M-9 (M9). (Continua).

Variável	Clone/Portaenxerto	Modelo	R ²
Caçador			
IA (1-9)	Galaxy+MKM9	$Y = 1,8 - 0,75x^{ns} + 0,17x^{2**}$	0,33
	Imperial Gala+MKM9	$Y = 0,3 - 0,28x^{ns} + 0,10x^{2ns}$	0,24
	Maxi Gala+MKM9	$Y = 1,3 - 0,48x^{ns} + 0,13x^{2*}$	0,31
	Royal Gala+MKM9	$Y = 1,6 - 0,74x^{ns} + 0,20x^{2ns}$	0,37
CMS (%)	Galaxy+M9	$Y = 13,8 - 0,02x^{ns}$	0,00
	Imperial Gala+M9	$Y = 14,1 + 0,23x^{ns}$	0,03
	Maxi Gala+M9	$Y = 13,6 + 0,24x^{ns}$	0,07
	Royal Gala+M9	$Y = 15,6 - 0,08x^{ns}$	0,01
	Galaxy+MKM9	$Y = 14,4 + 0,10x^{ns}$	0,01
	Imperial Gala+MKM9	$Y = 15,1 + 0,14x^{ns}$	0,02
	Maxi Gala+MKM9	$Y = 15,3 + 0,00x^{ns}$	0,00
Royal Gala+MKM9	$Y = 14,0 + 0,16x^{ns}$	0,02	
São Joaquim			
FP (lb)	Galaxy+M9	$Y = 27,9 - 1,41x^{***(2)}$	0,67
	Imperial Gala+M9	-	-
	Maxi Gala+M9	$Y = 28,1 - 1,48x^{***}$	0,72
	Royal Gala+M9	$Y = 28,1 - 1,44x^{***}$	0,75
	Galaxy+MKM9	$Y = 28,1 - 1,39x^{***}$	0,66
	Imperial Gala+MKM9	$Y = 27,1 - 1,37x^{***}$	0,73

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Coefficiente angular não significativo (ns) ou significativo a 5(*), 1(**) e 0,1%(***).

APÊNDICE C - Modelos lineares e quadráticos para variações da firmeza de polpa, sólidos solúveis, índice de iodo amido e matéria seca durante a evolução da maturação de maçãs ‘Galaxy’, ‘Imperial Gala’, ‘Maxi Gala’ e ‘Royal Gala’. Os frutos foram colhidos semanalmente durante 5 semanas em Caçador e Vacaria e seis semanas em São Joaquim em macieiras enxertadas sobre Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) ou M-9 (M9). (Continua).

Variável	Clone/Portaenxerto	Modelo	R ²
São Joaquim			
FP (lb)	Maxi Gala+MKM9	$Y = 26,3 - 1,15x^{***}$	0,58
	Royal Gala+MKM9	$Y = 27,3 - 1,26x^{***}$	0,64
SS (%)	Galaxy+M9	$Y = 6,8 + 0,91x^{***}$	0,92
	Imperial Gala+M9	.	.
	Maxi Gala+M9	$Y = 7,0 + 0,87x^{***}$	0,89
	Royal Gala+M9	$Y = 7,0 + 0,81x^{***}$	0,88
	Galaxy+MKM9	$Y = 6,7 + 0,97x^{***}$	0,91
	Imperial Gala+MKM9	$Y = 6,7 + 0,86x^{***}$	0,90
	Maxi Gala+MKM9	$Y = 6,7 + 0,79x^{***}$	0,84
	Royal Gala+MKM9	$Y = 6,7 + 0,84x^{***}$	0,90
IA (1-9)	Galaxy+M9	$Y = 4,1 - 2,19x^{***} + 0,35x^{2***}$	0,67
	Imperial Gala+M9	.	.
	Maxi Gala+M9	$Y = 4,2 - 2,17x^{***} + 0,34x^{2***}$	0,67
	Royal Gala+M9	$Y = 4,2 - 2,25x^{***} + 0,36x^{2***}$	0,65
	Galaxy+MKM9	$Y = 2,3 - 1,20x^{**} + 0,24x^{2***}$	0,60
	Imperial Gala+MKM9	$Y = 4,8 - 2,66x^{***} + 0,43x^{2***}$	0,76
	Royal Gala+MKM9	$Y = 3,6 - 1,86x^{***} + 0,31x^{2***}$	0,63
	Royal Gala+MKM9	$Y = 4,1 - 2,15x^{***} + 0,34x^{2***}$	0,65

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Coefficiente angular não significativo (ns) ou significativo a 5(*), 1(**) e 0,1%(***).

APÊNDICE C - Modelos lineares e quadráticos para variações da firmeza de polpa, sólidos solúveis, índice de iodo amido e matéria seca durante a evolução da maturação de maçãs ‘Galaxy’, ‘Imperial Gala’, ‘Maxi Gala’ e ‘Royal Gala’. Os frutos foram colhidos semanalmente durante 5 semanas em Caçador e Vacaria e seis semanas em São Joaquim em macieiras enxertadas sobre Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) ou M-9 (M9). (Continua).

Variável	Clone/Portaenxerto	Modelo	R ²
São Joaquim			
CMS (%)	Galaxy+M9	$Y = 12,5 + 0,19x^{**}$	0,06
	Imperial Gala+M9	.	.
	Maxi Gala+M9	$Y = 13,7 - 0,27x^{**}$	0,07
	Royal Gala+M9	$Y = 12,7 + 0,01x^{ns}$	0,00
	Galaxy+MKM9	$Y = 12,3 + 0,13x^{ns}$	0,01
	Imperial Gala+MKM9	$Y = 13,1 - 0,21x^{ns}$	0,05
	Maxi Gala+MKM9	$Y = 11,9 - 0,00x^{ns}$	0,00
	Royal Gala+MKM9	$Y = 12,4 - 0,07x^{ns}$	0,00
Vacaria			
FP (lb)	Galaxy+M9	$Y = 26,1 - 1,56x^{***(2)}$	0,68
	Imperial Gala+M9	$Y = 25,7 - 1,54x^{***}$	0,63
	Maxi Gala+M9	$Y = 25,0 - 1,36x^{***}$	0,64
	Royal Gala+M9	$Y = 26,3 - 1,58x^{***}$	0,67
	Galaxy+MKM9	$Y = 25,0 - 1,62x^{***}$	0,68
	Imperial Gala+MKM9	$Y = 24,6 - 1,55x^{***}$	0,63
	Maxi Gala+MKM9	$Y = 25,0 - 1,62x^{***}$	0,69
	Royal Gala+MKM9	$Y = 24,7 - 1,57x^{***}$	0,61

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Coefficiente angular não significativo (^{ns}) ou significativo a 5(*), 1(**) e 0,1%(***).

APÊNDICE C - Modelos lineares e quadráticos para variações da firmeza de polpa, sólidos solúveis, índice de iodo amido e matéria seca durante a evolução da maturação de maçãs ‘Galaxy’, ‘Imperial Gala’, ‘Maxi Gala’ e ‘Royal Gala’. Os frutos foram colhidos semanalmente durante 5 semanas em Caçador e Vacaria e seis semanas em São Joaquim em macieiras enxertadas sobre Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) ou M-9 (M9). (Continua).

Variável	Clone/Portaenxerto	Modelo	R ²
Vacaria			
SS (%)	Galaxy+M9	$Y = 7,1 + 0,84x^{***}$	0,79
	Imperial Gala+M9	$Y = 7,1 + 0,82x^{***}$	0,83
	Maxi Gala+M9	$Y = 7,0 + 0,79x^{***}$	0,79
	Royal Gala+M9	$Y = 6,8 + 0,93x^{***}$	0,82
	Galaxy+MKM9	$Y = 7,5 + 0,83x^{***}$	0,89
	Imperial Gala+MKM9	$Y = 7,4 + 0,75x^{***}$	0,85
	Maxi Gala+MKM9	$Y = 7,2 + 0,85x^{***}$	0,82
	Royal Gala+MKM9	$Y = 7,1 + 0,85x^{***}$	0,88
IA (1-9)	Galaxy+M9	$Y = 5,6 - 3,27x^{***} + 0,55x^{2***}$	0,67
	Imperial Gala+M9	$Y = 4,4 - 2,53x^{***} + 0,45x^{2***}$	0,56
	Maxi Gala+M9	$Y = 6,1 - 3,59x^{***} + 0,57x^{2***}$	0,64
	Royal Gala+M9	$Y = 5,6 - 3,28x^{***} + 0,54x^{2***}$	0,59
	Galaxy+MKM9	$Y = 2,0 - 1,31x^{*} + 0,38x^{2***}$	0,77
	Imperial Gala+MKM9	$Y = 3,7 - 2,43x^{***} + 0,51x^{2***}$	0,75
	Maxi Gala+MKM9	$Y = 4,9 - 3,15x^{***} + 0,60x^{2***}$	0,75
	Royal Gala+MKM9	$Y = 5,4 - 3,44x^{***} + 0,64x^{2***}$	0,78
CMS (%)	Galaxy+M9	$Y = 12,9 - 0,06x^{ns}$	0,00
	Imperial Gala+M9	$Y = 12,7 + 0,08x^{ns}$	0,01

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Coefficiente angular não significativo (ns) ou significativo a 5(*), 1(**) e 0,1%(***).

APÊNDICE C - Modelos lineares e quadráticos para variações da firmeza de polpa, sólidos solúveis, índice de iodo amido e matéria seca durante a evolução da maturação de maçãs ‘Galaxy’, ‘Imperial Gala’, ‘Maxi Gala’ e ‘Royal Gala’. Os frutos foram colhidos semanalmente durante 5 semanas em Caçador e Vacaria e seis semanas em São Joaquim em macieiras enxertadas sobre Marubakaido com filtro M-9 (MKM9) ou M-9 (M9). (Conclusão).

Variável	Clone/Portaenxerto	Modelo	R ²
Vacaria			
CMS (%)	Maxi Gala+M9	$Y = 12,3 + 0,15x^{**}$	0,04
	Royal Gala+M9	$Y = 13,2 + 0,05x^{ns}$	0,00
	Galaxy+MKM9	$Y = 13,0 - 0,03x^{ns}$	0,00
	Imperial Gala+MKM9	$Y = 12,8 - 0,10x^{ns}$	0,01
	Maxi Gala+MKM9	$Y = 12,8 - 0,06x^{ns}$	0,00
	Royal Gala+MKM9	$Y = 12,6 - 0,06x^{ns}$	0,01

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Coefficiente angular não significativo (^{ns}) ou significativo a 5(*), 1(**) e 0,1%(***).