



EVALDO TADEU DE MELO

**METABOLISMO ANTIOXIDANTE E RECONEXÃO DOS
TECIDOS VASCULARES NA COMPATIBILIDADE DE
MUDAS ENXERTADAS DE PEREIRA E MARMELEIRO**

**LAVRAS - MG
2019**

IVALDO TADEU DE MELO

**METABOLISMO ANTIOXIDANTE E RECONEXÃO DOS TECIDOS VASCULARES
NA COMPATIBILIDADE DE MUDAS ENXERTADAS DE PEREIRA E
MARMELEIRO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. Rafael Pio
Orientador

**LAVRAS - MG
2019**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Melo, Evaldo Tadeu de.

Metabolismo antioxidante e reconexão dos tecidos vasculares
na compatibilidade de mudas enxertadas de pereira e marmeleiro /
Evaldo Tadeu de Melo. - 2019.

65 p. : il.

Orientador(a): Rafael Pio.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2019.
Bibliografia.

1. *Pyrus sp.* 2. Enxertia. 3. Incompatibilidade. I. Pio, Rafael. II.
Título.

EVALDO TADEU DE MELO

**METABOLISMO ANTIOXIDANTE E RECONEXÃO DOS TECIDOS VASCULARES
NA COMPATIBILIDADE DE MUDAS ENXERTADAS DE PEREIRA E
MARMELEIRO**

**ANTIOXIDATING METABOLISM AND RECONNECTION OF VASCULAR
TISSUES IN THE COMPATIBILITY OF GATED PEREIRA AND HAMMERS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 10 de outubro de 2019.

Dr. Ângelo Albérico Alvarenga EPAMIG

Dr. Evaristo Mauro de Castro UFLA

Dra. Leila Aparecida Salles Pio UFLA

Dr. Paulo Eduardo Ribeiro Marchiori UFLA

Prof. Dr. Rafael Pio
Orientador

**LAVRAS – MG
2019**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me iluminar e permitir mais esta conquista.

À Universidade Federal de Lavras, através do Departamento de Agricultura, do Setor de Fruticultura e do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, pela oportunidade de realizar este curso.

Ao meu orientador e amigo, Professor Rafael Pio, pela oportunidade, incentivo, ensinamentos e apoio no decorrer deste curso.

À equipe do laboratório de Bioquímica e Fisiologia Molecular, pela ajuda na condução das análises bioquímicas.

Ao laboratório de Anatomia da Madeira, em especial à Pós-doutoranda Cassiana Alves Ferreira, pela imensa ajuda no preparo do material histológico.

À Pós-doutoranda do setor de fruticultura, Daniela da Hora Farias, pela imensa ajuda com as análises bioquímicas.

À Pós-doutoranda do laboratório de Biomateriais. Maira Reis de Assis, que gentilmente me permitiu utilizar o aparelho de vácuo.

Ao técnico Lamartine Nóbrega Filho, do laboratório de Genética e Melhoramento de Plantas, que gentilmente me permitiu usar a centrífuga.

Ao Pós-doutorando do laboratório de Anatomia Vegetal, Márcio Paulo Pereira, pela ajuda com as imagens histológicas.

À Marli dos Santos Tulio, secretária do Programa de Pós Graduação em Fitotecnia, pelo apoio e compreensão nas atividades acadêmicas.

À professora Leila Aparecida Salles Pio, chefe do Setor de Fruticultura, que gentilmente contribuiu em meu afastamento parcial das atividades do setor para finalizar este curso.

Ao professor Rubens José Guimarães, chefe do Departamento de Agricultura, que gentilmente contribuiu em meu afastamento parcial das atividades do setor para finalizar este curso.

À Coordenadoria de Assistência Técnica e Integral (CATI), Núcleo de Produção de Mudanças de São Bento do Sapucaí-SP.

A todos os amigos e companheiros do Setor de Fruticultura, pela ajuda na execução dos experimentos, dicas, sugestões e contribuições valiosas no dia a dia.

À minha filha Maria Fernanda Fernandes de Melo, que chegou durante o trajeto deste curso e trouxe muita alegria e a certeza de que sempre podemos fazer algo a mais.

Em especial à minha esposa Monique Carolina Nunes Fernandes, pelo incentivo, apoio e companheirismo, sem o qual eu jamais teria vindo para Lavras e, conseqüentemente, concluído este curso.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior–Brasil (CAPES) Código de Financiamento 001.

Aos demais não mencionados, mas que de alguma forma contribuíram para a conclusão deste trabalho.

MUITO OBRIGADO!

“Combati o bom combate, acabei a carreira, guardei a fé.” (2 Timóteo 4:7)

RESUMO

Com a expansão do cultivo de fruteiras de clima temperado, diversos problemas de adaptação das cultivares surgiram, em especial, a necessidade de novos porta-enxertos adaptados as novas regiões. O estudo da incompatibilidade no processo de enxertia é muito complexo e envolve componentes anatômicos, bioquímicos e genéticos. Alguns autores acreditam que a incompatibilidade ocorre devido a uma deficiência no funcionamento do metabolismo antioxidante, o que leva ao acúmulo de Espécies Reativas de Oxigênio (EROs) e conseqüentemente, a morte das células. Se não houver um metabolismo antioxidante funcionando perfeitamente, haverá danos celulares, o que dificultará a reconexão vascular. Com isso, objetivou-se correlacionar o metabolismo antioxidante e a reconexão dos tecidos vasculares da enxertia na compatibilidade em combinações intergenéricas incompatíveis de marmeleiros e pereiras. O experimento foi conduzido no Setor de Fruticultura pertencente ao Departamento de Agricultura, da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Os porta-enxertos foram conduzidos com haste única. As mudas foram enxertadas pelo método de garfagem de fenda cheia, quando apresentavam diâmetro médio de 7 mm a 15 cm de altura. Os garfos foram padronizados com aproximadamente 10 cm de comprimento e 7 mm de diâmetro. Foram enxertadas nos porta-enxertos *Pyrus calleryana* e *Chaenomeles sinensis* às cultivares de pereira Packham's Triumph, William's, Triunfo, Primorosa e Shenseri, a cultivar de marmeleiro Mendoza Inta 37, e também as espécies *Pyrus calleryana* e *Chaenomeles sinensis*. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 8, com três repetições e 15 enxertos por parcela. Foram avaliadas porcentagens de brotação dos enxertos, comprimento e diâmetro da brotação. Para as avaliações bioquímicas foram coletadas amostras na região da enxertia aos 5, 15, 25, 35 e 45 dias após a enxertia. Foram coletadas amostras de três mudas por tratamento em cada época de coleta e as amostras foram separadas em duas, a porção referente à copa da porção referente ao porta-enxerto. Foram avaliados o peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e a peroxidação lipídica (concentração de malondialdeído - MDA). Também foram realizadas avaliações anatômicas na região da enxertia nas mesmas épocas de coleta. Posteriormente, foram mensuradas a espessura da casca do enxerto e do porta-enxerto e a área da massa de calo formada. O porta-enxerto *Chaenomeles sinensis* proporciona maior crescimento às mudas de marmeleiro *Cydonia oblonga* e *Chaenomeles sinensis*. Por outro lado, o porta-enxerto *Pyrus calleryana* proporciona maior crescimento às mudas de pereira híbridas (*Pyrus communis* x *Pyrus pirifolia*), *Pyrus calleryana* e ao marmeleiro *Cydonia oblonga*. A concentração de peróxido de hidrogênio é superior nas copas comparados aos porta-enxertos. A peroxidação lipídica é superior nos porta-enxertos em relação às copas. A concentração de Peróxido de Hidrogênio e a concentração de Malondialdeído são similares nas combinações compatíveis e incompatíveis. A formação de calos não é determinante na compatibilidade de enxertia.

Palavras-chave: *Pyrus sp.* Enxertia. Incompatibilidade.

ABSTRACT

The expansion of the cultivation of temperate fruit trees brought several problems of adaptation of the cultivars, especially the need for new rootstocks adapted to the new regions. The study of incompatibility in the grafting process is very complex and involves anatomical, biochemical and genetic components. Some authors believe that the incompatibility occurs due to a deficiency in the functioning of antioxidant metabolism, which leads to the accumulation of Reactive Oxygen Species (ROS) and, consequently, cell death. If there is no perfectly functioning antioxidant metabolism, cell damage will occur and vascular reconnection will be difficult. Thus, the objective of this study was to correlate the antioxidant metabolism and reconnection of grafting vascular tissues in the compatibility in incompatible intergeneric combinations of quince and pear. The experiment was conducted in the Fruit Sector belonging to the Department of Agriculture of The Federal University of Lavras (UFLA). The rootstocks were conducted with a single stem. The scions were grafted by the cleft grafting method when they had an average diameter of 7 mm to 15 cm in height. The cleft grafts were standardized to approximately 10 cm in length and 7 mm in diameter. *Pyrus calleryana* and *Chaenomeles sinensis* rootstocks were grafted with the pear cultivars Packham's Triumph, William's, Triunfo, Primorosa and Shenseri, with the quince cultivar Mendoza Inta 37 and also *Pyrus calleryana* and *Chaenomeles sinensis*. A completely randomized design was used with a 2 x 8 factorial scheme, with three replications and 15 grafts per plot. Percentages of graft sprouting, sprout length and diameter were evaluated. For biochemical evaluations, samples were collected in the grafting region at 5, 15, 25, 35 and 45 days after grafting. Samples of three plants were collected per treatment at each time of collection and the samples were separated into two, the scion portion and the rootstock portion. Hydrogen peroxide (H₂O₂) and lipid peroxidation (concentration of Malondialdehyde - MDA) were evaluated. Anatomical evaluations were also performed in the graft region at the same time of collection. Subsequently, the thickness of the graft bark and the rootstock bark and the area of the callus mass formed were measured. The rootstock *Chaenomeles sinensis* provides greater growth to quinces *Cydonia oblonga* and *Chaenomeles sinensis*. On the other hand, the *Pyrus calleryana* rootstock provides higher growth to the hybrid pears (*Pyrus communis* x *Pyrus pirifolia*) plants, *Pyrus calleryana*, and the *Cydonia oblonga* quince. Hydrogen peroxide concentration is higher in scions compared to rootstocks. Lipid peroxidation is higher in the rootstocks than in the scions. Hydrogen Peroxide concentration and Malondialdehyde concentration are similar in compatible and incompatible combinations. Callus formation is not a determinant of graft compatibility.

Keywords: *Pyrus* sp. Grafting. Incompatibility.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Condução dos experimentos. Enxertia por garfagem de fenda cheia (A). Amarrio da enxertia (B). Separação da enxertia para análises bioquímicas (C). Maceração do material em Nitrogênio líquido para análises bioquímicas (D). Pipetagem das amostras em microplacas para leitura (E). Amostras na placa após reação (F). Enxertia emblocada em Historesina para cortes anatômicos (G). Corte histológico de Mendoza Inta 37 sobre *Chaenomeles sinensis* aos 45 dias após a enxertia (H). As setas vermelhas indicam onde foi menssurado a área do calo formado..... 35
- Figura 2 - Teores médios de peróxido de hidrogênio na casca do porta-enxerto e enxerto na região da enxertia, das cultivares de pereira (A) Packham's Triumph, (C) William's, (E) Triunfo e (G) Primorosa, enxertadas nos porta-enxertos *Pyrus calleryana* e *Chaenomeles sinensis* aos 5, 15, 25, 35 e 45 dias pós a enxertia (DPE). Peroxidação lipídica na casca do porta-enxerto e copa na região da enxertia, das cultivares de pereira, (B) Packham's Triumph, (D) William's, (F) Triunfo e (H) Primorosa enxertadas nos porta-enxertos *Pyrus calleryana* e *Chaenomeles sinensis* aos 5, 15, 25, 35 e 45 dias pós a enxertia (DPE).45
- Figura 3 - Teores médios de peróxido de hidrogênio na casca do porta-enxerto e copa na região da enxertia, da cultivar de pereira, (A) Shenseri, da cultivar de marmeleiro (C) Mendoza Inta 37, da espécie (E) *Pyrus calleryana* e da espécie (G) *Chaenomeles sinensis* enxertadas nos porta-enxertos *Pyrus calleryana* e *Chaenomeles sinensis* aos 5, 15, 25, 35 e 45 dias pós a enxertia (DPE). E peroxidação lipídica na casca do porta-enxerto e copa na região da enxertia, da cultivar de pereira, (B) Shenseri, da cultivar de marmeleiro (D) Mendoza Inta 37, da espécie (F) *Pyrus calleryana* e da espécie (H) *Chaenomeles sinensis* enxertadas nos porta-enxertos *Pyrus calleryana* e *Chaenomeles sinensis* aos 5, 15, 25, 35 e 45 dias pós a enxertia (DPE).46
- Figura 4 - Seções transversais na região da enxertia. Packham's Triumph sobre *Chaenomeles sinensis* aos 5 dias após a enxertia (A). Primorosa sobre *Pyrus calleryana* aos 25 dias após a enxertia (B). *Chaenomeles sinensis* sobre *Pyrus calleryana* aos 45 dias após a enxertia (C). *Pyrus calleryana* sobre *Pyrus calleryana* aos 45 dias após a enxertia (D). Barra = 200 µm. 48

- Figura 5 - Área de calo formado na região da enxertia ao longo do tempo após a enxertia, das copas Packham's Triumph (A), William's (B), Triunfo (C), Primorosa (D), Shenseri (E), Mendoza Inta 37 (F), *Pyrus caleryana* (G) e *Chaenomeles sinensis* (H) em μm^2 , nos porta enxertos *Pyrus caleryana* (AZUL) e *Chaenomeles sinensis* (VERMELHO). 50
- Figura 6 - Espessura da casca em (μm) das copas Packham's Triumph, William's, Triunfo, Primorosa, Shenseri, Mendoza Inta 37, *Pyrus caleryana* e *Chaenomeles sinensis* e dos porta enxertos *Pyrus caleryana* e *Chaenomeles sinensis*..... 53

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Médias de brotação, comprimento e diâmetro dos enxertos das cultivares de pereiras, Triunfo, Primorosa, Packham's Triumph, William's e Shenseri, a cultivar de marmeleiro Mendoza Inta 37 e dos próprios porta-enxertos, aos 120 dias pós-enxertia (DPE). 39
- Tabela 2 - Médias da concentração de Peróxido de Hidrogênio e teor de MDA das cinco épocas de coleta, na casca do porta-enxerto e do enxerto na região da enxertia, dos porta-enxertos *Pyrus calleryana* e *Chaenomeles sinensis* enxertados com as cultivares de pereira, Triunfo, Primorosa, Packham's Triumph, William's e Shenseri, a cultivar de marmeleiro Mendoza Inta 37 e com os próprios porta-enxertos.41
- Tabela 3 - Coeficiente de correlação de Pearson, entre as variáveis Brotação (%), Comprimento da brotação (cm), Diâmetro da brotação (mm), Peróxido de hidrogênio do porta-enxerto (nM/G⁻¹ MF), Peróxido de hidrogênio da copa (nM/G⁻¹ MF), Peroxidação lipídica do porta enxerto (nM/G⁻¹ MF), Peroxidação lipídica da copa (nM/G⁻¹ MF), Área do calo formado e Espessura da casca (µm²) para o porta-enxerto *Pyrus caleryana*. 56

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Origem e classificação botânica	15
2.2	Importância econômica da pereira e do marmeleiro	16
2.3	Propagação.....	18
2.3.1	Porta-enxertos.....	19
2.3.1.1	<i>Pyrus calleryana</i>	19
2.3.1.2	<i>Chaenomeles sinensis</i>.....	20
2.3.2	Enxertia	21
2.4	Compatibilidade e incompatibilidade no processo de enxertia.....	23
2.4.1	Tipos de incompatibilidade.....	26
2.4.1.1	Incompatibilidade anatômica	27
2.4.1.2	Incompatibilidade bioquímica	28
2.5	Espécies Reativas de Oxigênio (EROs).....	29
3	HIPÓTESES	32
4	OBJETIVOS	33
5	MATERIAIS E MÉTODOS.....	34
5.1	Condução do experimento	34
5.2	Análises fitotécnicas	36
5.3	Análises bioquímicas	36
5.4	Análises anatômicas	37
6	CONCLUSÕES	58
	REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o cultivo de fruteiras de clima temperado deixou de ser praticado apenas na região sul do país, se expandindo para as demais regiões. Mesmo assim, a produção nacional de peras e marmelos ainda é muito baixa, não atendendo as demandas do mercado interno. Com essa expansão do cultivo, diversos problemas de adaptação das cultivares surgiram, demandando novas tecnologias de produção, em especial, a necessidade de novos porta-enxertos adaptados as condições edafoclimáticas das regiões tropical e subtropical, e compatíveis com as cultivares copas.

Nos plantios europeus, utiliza-se o marmeleiro do gênero *Cydonia* propagado via estaquia para produção de marmelos e também como porta-enxerto para as pereiras. Porém, esse marmeleiro não se adapta aos solos tropicais e subtropicais, especialmente pelas altas temperaturas da camada superficial do solo.

A espécie *Pyrus calleryana* é bastante adaptada às regiões tropicais e vem sendo utilizada há algum tempo como porta-enxerto para as pereiras. Esta espécie proporciona vigor excessivo a algumas cultivares. A espécie *Chaenomeles sinensis* também é adaptada às regiões tropicais e vem sendo utilizada como porta-enxerto para marmeleiros do gênero *Cydonia*, e poderia também, ser utilizada como porta-enxerto para pereiras. No entanto, alguns estudos recentes mostraram que ela é incompatível com as pereiras.

A incompatibilidade no processo de enxertia ocorre principalmente quando as combinações enxerto/porta-enxerto pertencem a gêneros diferentes. O estudo da incompatibilidade no processo de enxertia é muito complexo e vem sendo estudado por diversos autores, porém, sem resultados conclusivos.

Componentes anatômicos, bioquímicos e genéticos podem estar envolvidos no processo de incompatibilidade. Alguns autores acreditam que a incompatibilidade ocorre devido a uma deficiência no funcionamento do metabolismo antioxidante, o que leva ao acúmulo de Espécies Reativas de Oxigênio (EROs) e, conseqüentemente, à morte das células.

As EROs não permitem que haja a diferenciação das novas células e a formação de novos tecidos vasculares. O Peróxido de Hidrogênio H_2O_2 é uma das principais (EROs), causando diversos danos as células, especialmente a Peroxidação lipídica. Com isso, foram levantadas as seguintes hipóteses: A concentração de Peróxido de Hidrogênio H_2O_2 é maior nas combinações incompatíveis, provocando danos celulares. A Peroxidação lipídica é menor nas combinações compatíveis, devido a um melhor metabolismo antioxidante.

Sendo assim, objetivou-se correlacionar o metabolismo antioxidante e a reconexão dos tecidos vasculares da enxertia na compatibilidade em combinações intergenéricas de marmeleiros e pereiras.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Origem e classificação botânica

As pereiras e os marmeleiros pertencem à família *Rosaceae* e a subfamília *Pomoideae*. Como característica marcante, destaca-se a presença de ovário ínfero, com 2-5 carpelos concrescidos entre si e unidos ao receptáculo côncavo. Ao amadurecer, o receptáculo torna-se carnoso, envolvendo os carpelos e formando um pseudofruto chamado pomo. São formadas por árvores e arbustos de folhas simples e caducas (LORENZI et al., 2008). Pertencem a essa subfamília os gêneros: *Malus* (macieiras), *Pyrus* (pereiras), *Cydonia* e *Chaenomeles* (marmeleiros) e *Eriobotrya* (nespereiras), os quais se dividem em diversas espécies e centenas de cultivares.

Os marmeleiros são originários do oeste asiático, mais precisamente, Cydon, na ilha de Creta, Grécia, onde ainda é constatado em estado selvagem, pertencente ao gênero *Cydonia*. Existe ainda, outro marmelo cultivado de forma expressiva no mundo, porém, pertencente ao gênero *Chaenomeles*, conhecido como ‘marmelo do Japão’ ou ‘Japonês’ (*Chaenomeles sinensis* Koehne). Os marmelos do gênero *Chaenomeles* são facilmente distinguíveis dos marmelos do gênero *Cydonia* por apresentarem folhas serradas (PIO et al., 2005).

Os marmelos foram introduzidos no Brasil em 1532, por Martim Afonso de Souza. Tamanha a importância alcançada pelo cultivo, que a marmelada se tornou o principal e o primeiro produto de exportação paulista na época colonial, antecessora ao café, onde os doces eram comercializados em caixas e caixetas. Na década de 30, o marmelo foi responsável pelo desenvolvimento de municípios do Sul de Minas Gerais, principalmente os municípios de Delfim Moreira, Cristina, Maria da Fé, Virgínia e Marmelópolis, destacando-se por ser a principal região produtora do país e possuir dezenas de indústrias processadoras de marmelos (PIO et al., 2005). O fruto do marmeleiro não é muito apreciado para o consumo ao natural devido à dureza da polpa, amargor e adstringência, porém, é muito apreciado no uso culinário no fabrico de marmeladas, compotas, geleias e bolos (ALVARENGA et al., 2008).

A pereira pertence ao gênero *Pyrus*. Sabe-se que a maior parte do gênero *Pyrus*, diferenciou-se no período Terciário em um território montanhoso da atual China Ocidental, dispersando-se a leste e a oeste e adaptando-se a diversas condições de clima e território (MUNIZ et al., 2012).

Todas as espécies de *Pyrus* são autoestéreis e diploides ($2n=34$). No Brasil, as espécies mais difundidas são a *Pyrus communis*, popularmente conhecida como pera europeia, e a *Pyrus pyrifolia* conhecida como pera asiática (MUNIZ et al., 2012). *Seedlings* e seleções clonais de *P. betulaefolia*, *P. calleryana*, *P. pyrifolia*, *P. ussuriensis* e *P. communis* são utilizadas como porta-enxertos na Europa, América do Norte, América do Sul e no leste da Ásia. Há também outras espécies de pereira que são utilizadas como plantas ornamentais (QUEZADA; NAKASU, 2003).

A produção de peras no mundo é baseada fundamentalmente em duas espécies: *Pyrus communis* (europeia) e *Pyrus pyrifolia* (asiática), além dos híbridos entre estas duas espécies, sendo atualmente, as cultivares híbridas as mais plantadas no Brasil. Possui copa vertical, as folhas são caducifólias de cor verde vivo, coriáceas, glabras, de bordo fracamente serrilhado. Aparecendo na primavera, as flores são brancas, solitárias ou em fascículos, os carpelos no pseudofruto maduro são rodeados por uma camada de células pétreas (QUEZADA; NAKASU, 2003).

A pera europeia é considerada uma das frutas de maior qualidade organoléptica, devido à combinação da textura cremosa e sucosa em seus frutos, além de delicadeza do seu sabor e aroma, enquanto as peras orientais são caracterizadas por textura e sabor peculiar, e as híbridas possuem características intermediárias entre as duas (QUEZADA; NAKASU, 2003). São fruteiras tradicionalmente exploradas em regiões de clima temperado, porém, nas últimas décadas, começaram a ser cultivadas também em regiões tropicais e subtropicais.

2.2 Importância econômica da pereira e do marmeleiro

A produção de frutas de clima temperado teve um grande impacto na economia brasileira, aumentando a produção de 732.359 para 2.102.534 toneladas (347,47%) e na área de 94.339 para 147.328 hectares (56,16%) nos últimos anos. Isso mostra um grande aumento na produtividade nas últimas cinco décadas, de 7,76 t ha⁻¹ para os atuais 14,27 t ha⁻¹ (PIO et al., 2019).

Entre as fruteiras de clima temperado cultivadas no Brasil, as macieiras apresentaram o maior crescimento na produção de 4.676,25% nos últimos 50 anos. No entanto, houve uma diminuição na produção de marmelo (96,98%) e peras (67,76%) (PIO et al., 2019). A produção mundial de marmelos é de aproximadamente 380 mil toneladas ao ano, numa área de 57 mil hectares. A Turquia é o maior produtor da fruta, com 28,0%, seguida pela China, com 23,0% da área cultivada (COUTINHO et al., 2019).

A produção mundial de peras ficou em 27.345.930 toneladas em 2016. Sendo a China responsável por 19.388.063 toneladas em 1.116.085 hectares, representando 70,89% da produção mundial. Seguida por Argentina, Estados Unidos e Itália, com as respectivas 905.605, 738.770 e 701.928 toneladas, colhidas no mesmo período (BALBI et al., 2019).

No Brasil e em Minas Gerais, houve uma drástica redução na área plantada (1888 ha para 62 ha) com peras e marmelos nos últimos 30 anos. Houve também um aumento na produtividade, o que manteve estável a produção nacional de peras ao longo dos últimos anos (IBGE, 2018).

Quando comparado ao cultivo de outras fruteiras de clima temperado, a pera representa apenas 0,65% do valor total no Brasil. Este fator concomitante à baixa produção faz com que o Brasil seja um forte importador da fruta no mercado mundial (FACHINELLO et al., 2011). A produção de pera diminuiu gradualmente devido a uma redução acentuada no fornecimento e qualidade dos frutos produzidos em relação aos frutos do exterior (PIO et al., 2007). Segundo Fachinello et al. (2011), o aumento na produção de frutos depende do desenvolvimento de novas cultivares e estratégias hortícolas que forneçam soluções para superar os desafios atuais.

Segundo Pio et al. (2008), apesar de existir várias cultivares de marmeleiro nas unidades estaduais de pesquisa, a única cultivar comercial utilizada pelos marmelocultores é a 'Portugal', possivelmente por existir deficiência na difusão de tecnologia por parte dos técnicos e desinteresse por parte dos pesquisadores em executar profundas investigações com essa fruteira.

Bettiol Neto et al. (2011), estudaram o desempenho produtivo de diferentes cultivares de marmeleiros propagados por estacas em Jundiaí-SP e verificaram que dessas, cinco cultivares possuem produtividade próxima a 10 t ha^{-1} . A utilização de mudas enxertadas proporcionam maior vigor às plantas, contribuindo no incremento produtivo das cultivares (PIO et al., 2008). Nesse sentido, marmeleiros enxertados em porta-enxertos específicos, podem apresentar maior desempenho produtivo. Coutinho et al. (2017), avaliando o desempenho produtivo de 28 cultivares de marmeleiro *Cydonia oblonga*, enxertados sobre *Chaenomeles sinensis* para o cultivo nos trópicos, selecionou seis cultivares com grande potencial produtivo Alaranjado, Lajeado, Portugal, CTS 207, Provence e Bereckzy.

O cultivo de marmeleiros apresenta sérias limitações, destacando-se problemas fitossanitários e a perda de competitividade frente a outras fruteiras, como o pessegueiro e a goiabeira, que além de servirem para industrialização podem ser consumidos *in natura*. Ao longo desses anos, diversas tentativas foram feitas para recuperar o cultivo de marmelos no

Estado, com ampliação de cultivos e recuperação de pomares existentes, principalmente para produção de doces artesanais (PIO et al., 2005).

O cultivo de peras em regiões subtropicais, com inverno ameno, é possível devido a obtenção dos cultivares híbridos, conhecidas como peras rústicas, obtidas pelo cruzamento entre peras tipo europeias (alta exigência ao frio hibernal e excelente qualidade dos frutos) com peras tipo orientais (baixa exigência ao frio hibernal e qualidade inferior dos frutos) desenvolvidos pelo Instituto Agrônomo (IAC) (BARBOSA et al., 2007).

Bettiol Neto et al. (2014), avaliando por três anos consecutivos, seis cultivares de pereira híbrida *Pyrus communis* x *Pyrus pyrifolia*, enxertadas sobre *Pyrus calleryana*, obtiveram produções satisfatórias e frutos com qualidade aceitável.

Segundo Fachinello et al. (2011), a cultura da pera representa uma excelente oportunidade de mercado para os produtores nacionais, visto que o país apresenta uma oferta da fruta muito menor do que a demanda exigida. Todavia, ainda não se observa um crescimento da produção nos principais estados produtores (FIORAVANÇO, 2007). Este é outro fator que contribui muito para a alta taxa de importação já citada anteriormente.

A falta de porta-enxertos adaptados às diferentes regiões de cultivo, aliada à falta de viveiristas que produzam mudas de qualidade, também se torna um fator comprometedor ao avanço da tecnologia de produção nos pomares brasileiros (QUEZADA; NAKASU, 2003).

Na atualidade, há uma busca por pomares cada vez mais adensados na fruticultura comercial, o que requer uma redução no porte das plantas. Essas características estão intimamente relacionadas com a facilidade de manejo na área de produção, principalmente nos tratamentos culturais, como poda e tratamentos fitossanitários (HARTMANN et al., 2010).

2.3 Propagação

Apesar das pereiras e marmeleiros cultivados apresentarem sementes viáveis, a propagação pela reprodução sexuada não se adequa às características dos plantios comerciais, devido à alta desuniformidade na produção das mudas. Deste modo, a alternativa mais viável para o processo de formação de mudas aptas para plantio é a propagação vegetativa. São inúmeras as vantagens da utilização deste método de propagação na produção de mudas de plantas frutíferas, podendo enfatizar a manutenção das características genéticas das plantas matrizes, uniformidade, porte reduzido e precocidade de produção (HARTMANN et al., 2010). A estaquia foi muito utilizada para propagação dos marmeleiros no passado.

Atualmente, a enxertia é a mais utilizada para as pereiras e os marmeleiros comerciais, e a propagação seminífera ocorre para a produção de porta-enxertos.

2.3.1 Porta-enxertos

A escolha de um porta-enxerto ideal é de extrema importância no processo de formação de uma muda enxertada. Este fator interfere diretamente em características muito relevantes para um pleno desenvolvimento da cultivar copa, como a ausência do período de juvenilidade, produção, resistência a pragas e doenças, e adaptação da planta a estresses abióticos, são algumas das principais características provenientes de um porta-enxerto adequado na produção da muda. Isto resultará em uma muda que apresente as características fundamentais de cultivo desejadas (HARTMANN et al., 2010).

Segundo Strydom (1998), um bom porta-enxerto deve apresentar características como compatibilidade com o cultivar comercial, facilidade de propagação, controle do vigor da planta, produção de frutos uniformes, e ser adaptável às diferentes condições edafoclimáticas. Além de influenciar no crescimento vegetativo, alterando a densidade de plantio e facilitando o manejo do pomar, resultando em um aumento da produtividade. O porta-enxerto deve, pelo menos, não diminuir a qualidade dos frutos que serão produzidos (BALBI et al., 2019).

Para viabilizar tecnicamente o adensamento dos pomares, uma das alternativas é o uso de porta-enxertos menos vigoroso, e que confere essa característica às suas copas. A tendência mundial de elevação dos custos com mão de obra e insumos agrícolas na fruticultura está conduzindo a sistemas de cultivo que conjuguem o mínimo de mão de obra, alta eficiência produtiva e qualidade dos frutos, visando o aumento da produtividade (MAYER; PEREIRA, 2006).

Entelmann et al. (2010) avaliaram o desenvolvimento de quatro cultivares de marmeleiro *Cydonia oblonga* e uma de *Chaenomeles sinensis*, enxertadas sobre *Pyrus calleryana* e *Chaenomeles sinensis* e obtiveram bons desempenho, à exceção do *Chaenomeles* que só desenvolveu na auto-enxertia.

2.3.1.1 *Pyrus calleryana*

O gênero *Pyrus* abrange mais de vinte espécies. *Pyrus calleryana* é natural do leste da China e Vietnã, constituindo-se um dos porta-enxerto mais adaptados ao clima subtropical e tropical. É bastante vigoroso e apresenta boa resistência a nematoides e ao pulgão lanígero,

com destaque para a cultivar Taiwan Nashi-C e os clones D-6 e D-12 (BETTIOL NETO; PIO, 2014). Suas sementes possuem germinação acima de 90%, em cerca de trinta dias, quando as sementes passam por estratificação, frio úmido a 5 °C (SHEN; LIN; CHEN, 1994).

O interesse no uso desse porta-enxerto oriental é devido a sua rusticidade, relacionado com a sua alta adaptabilidade ao clima subtropical ser fundamental para o cultivo de frutas de clima temperado em áreas subtropicais, além de possuir tolerância a altas temperaturas, umidade dos solos mal drenados, e resistência ao ‘*fire blight*’ (*Erwinia amylovora*) e ao declínio (MASSERON, 1989). Porém, para algumas cultivares de pereira, propiciam copas extremamente vigorosas, o que dificulta a condução das plantas nos plantios modernos, que são mais adensados, e, conseqüentemente, seu manejo cultural (MURATA et al., 2002).

Bettiol Neto et al. (2014), avaliaram por três anos, cinco cultivares de pereira enxertadas sobre *Pyrus calleryana*, nas condições subtropicais do município de Jundiaí-SP, e verificaram que houve redução do período de início do florescimento, até a colheita, antecipando a colheita em até dois meses em relação à safra do Sul do país.

Fazenda (2019), avaliando o desempenho produtivo de 11 cultivares de pereira para regiões subtropicais, por quatro anos, em Lavras, indicou as cultivares Tenra, Triunfo, Centenária e Seleta como aptas ao cultivo em regiões subtropicais por apresentarem boa produção e produtividade além de características organolépticas satisfatórias.

Melo et al. (2017), avaliando onze cultivares de pereira sobre *Pyrus calleryana*, encontraram alta taxa de brotação dos enxertos devido a alta reconexão dos tecidos vasculares e, conseqüentemente, bom desenvolvimento das mudas.

2.3.1.2 *Chaenomeles sinensis*

O marmeleiro do gênero *Chaenomeles* é originário do Japão, e facilmente distinguível dos marmeleiros do gênero *Cydonia* por suas folhas apresentarem bordos serrados. Destaca-se por possuir produção tardia e produzir excelente marmelada, principalmente quando misturada sua polpa com a de outro marmeleiro (ALVARENGA et al., 2008).

Há mais de duas décadas, a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), o Instituto Agrônômico (IAC) e, mais recentemente, a Universidade Federal de Lavras (UFLA), vêm estudando o marmeleiro ‘Japonês’, para uso como porta-enxerto, devido sua alta rusticidade, principalmente em relação a resistência à ‘Entomosporiose’ *Entomosporium maculatum*, e por possuir elevado número de sementes por frutos (acima de 180), alta germinação e emergência (acima de 90% e 70%, respectivamente), e boa afinidade

na relação enxerto/porta-enxerto com os marmeleiros do gênero *Cydonia* (COUTINHO et al., 2019).

Pio et al. (2008) testaram o *Chaenomeles sinensis* como porta-enxerto para pereiras, mas revelaram incompatibilidade na enxertia de cultivares de peras sobre este, ainda na fase de viveiro, com pouco crescimento das mudas, indicando a necessidade de novos experimentos para avaliar o que estaria causando esta incompatibilidade.

Melo et al. (2017) avaliando onze cultivares de pereira enxertadas sobre os porta – enxertos *Pyrus calleryana* e *Chaenomeles sinensis*, observou que, embora houvesse uma alta taxa de brotação dos enxertos, os mesmos não se desenvolviam sobre o *Chaenomeles sinensis*. Os mesmos autores, ainda analisando a reconexão dos tecidos vasculares no ponto da enxertia deste, observaram que os mesmos não haviam se reconectado, sendo, portanto, indicativo de uma combinação incompatível, o que não ocorreu quando enxertadas sobre o *Pyrus calleryana*.

No entanto Seifert et al. (2009), usando marmeleiros do gênero *Cydonia* como inter-enxertos entre *Chaenomeles sinensis* e copas de pereiras, conseguiu maior crescimento das mudas de pereira, confirmando que a incompatibilidade ocorre entre *Pyrus* e *Chaenomeles*.

2.3.2 Enxertia

A técnica de enxertia é baseada na união de partes de plantas distintas que, por meio da regeneração de seus tecidos constituintes, se desenvolvem como uma única planta por meio da união física das partes envolvidas (JANICK, 1966).

Consiste na combinação proposital de gemas ou ramos de uma planta com a base de outra planta, o porta-enxerto, também chamado de ‘cavalo’, e o enxerto, também chamado de ‘cavaleiro’. O porta-enxerto será responsável pelo sistema radicular da nova planta formada, ou seja, o potencial genético expresso na parte radicular da muda será proveniente do cavalo que foi utilizado na enxertia, sendo responsável pela absorção de água e nutrientes, suporte, resistência às pragas de solo. O enxerto será responsável pelo desenvolvimento de toda a parte aérea, todas as características vegetativas e reprodutivas da nova planta serão advindas do enxerto, porém, são influenciadas pelo porta-enxerto (SIMÃO, 1998).

Dentre as principais características benéficas da utilização da enxertia para produção de mudas, destaca-se: obtenção de populações homogêneas de plantas, manutenção das características desejáveis de clones selecionados, eliminação do período de juvenilidade e

associação às características reprodutivas da cultivar copa e rusticidade do porta-enxerto (HARTMANN et al., 2010).

A enxertia pode ser dividida em: ‘auto enxertia’, realizada entre enxerto de plantas da mesma espécie; ‘enxertia interespecífica’ que consiste de plantas de espécies diferentes, porém do mesmo gênero, e ‘enxertia intergenérica’ realizada entre espécies diferentes, além de serem de gêneros diferentes em sua classificação taxonômica (BALBI et al., 2019).

Além do método de enxertia, a época em que será realizada é também um fator diretamente relacionado com a taxa de sobrevivência das mudas, podendo ser totalmente determinantes em uma taxa de pegamento satisfatória. É usual que fruteiras de clima temperado apresentem uma taxa de sobrevivência de mudas maior quando enxertadas no período de dormência das plantas (HARTMAN et al., 2010). Segundo Pio et al. (2008a) a enxertia é um dos processos mais críticos na produção de mudas, sendo que a eficiência vai depender da qualidade do porta enxerto, gemas e garfos utilizados, da habilidade do enxertador e também de condições climáticas.

Alguns passos são essenciais para que o processo de enxertia obtenha sucesso, dentre eles, o alinhamento dos tecidos cambiais de enxerto e porta-enxerto, devido a sua grande capacidade meristemática, serão responsáveis pela multiplicação desordenada de células, irregularmente diferenciadas, sendo denominadas ‘calo’. Logo em seguida, ocorre uma junção das mesmas, formando apenas uma massa de calo em comum. Este calo será responsável pela diferenciação das células em novas células cambiais, promovendo uma união entre o câmbio do enxerto e do porta-enxerto. Por fim, serão produzidos novos tecidos vasculares permitindo o fluxo normal de água e nutrientes (FACHINELLO et al., 2005; HARTMAN et al., 2010).

Feng et al. (2017) avaliando auto-enxertia semilenhosa de *Camelia oleífera* encontrou cinco estágios distintos de desenvolvimento que se caracterizaram por: (1) a formação de uma camada necrótica escura causada pelo dano mecânico durante o corte da superfície, que atuou como uma camada de isolamento na superfície da ferida, (2) as células do parênquima do porta-enxerto próximo à ferida, câmbio e periciclo se desdiferenciaram e recuperaram a capacidade de se dividir, resultando na formação de um calo, (3) multiplicação das células do calo, (4) criação de uma ponte de calo entre o porta-enxerto e o enxerto, (5) as células do câmbio e parênquima diferenciaram-se em novos vasos, que reconectam os vasos cortados pela enxertia.

De acordo com Wang et al. (2017) o enxerto influencia o fenótipo das plantas enxertadas, incluindo mudanças na qualidade do fruto, resistência a pragas e patógenos, tolerância à adversidade e estresse, e outros distúrbios fisiológicos. A qualidade da copa é

comumente alterada pelos porta-enxertos após a enxertia. Além disso, para Fuentes et al. (2014) existe transferência de genoma nuclear entre enxerto e porta-enxerto, produzindo-se assim, novas espécies aloploplóides férteis e estáveis a uma taxa considerável. Duan et al. (2015) observaram transporte de proteínas a longa distância pela união do enxerto na cultivar de pera Du Li (*Pyrus betulaefolia*), enxertada em *Pyrus bretschneideri*.

Nos últimos anos, estudos foram realizados para determinar como as macromoléculas são transferidas entre enxertos e porta-enxerto para revelar os mecanismos que controlam as alterações induzidas pela enxertia (WANG et al., 2017). Paultre et al. (2016) usaram enxertia para estudar o movimento de proteínas em *Arabidopsis* e encontraram movimentos extensivos de proteínas do enxerto para o porta-enxerto. Esses estudos sustentam a ocorrência de um transporte a longa distância de mRNAs e proteínas, que podem até cumprir suas funções e alterar o desenvolvimento morfológico da planta.

2.4 Compatibilidade e incompatibilidade no processo de enxertia

Com a expansão da fruticultura no cenário mundial, a busca por uma maior adaptação de diferentes cultivares nas variadas regiões, teve como consequência a utilização do processo de enxertia entre genótipos cada vez mais distintos, muitas vezes pertencentes até mesmo a gêneros diferentes (BALBI et al., 2019).

O grau de afinidade entre as cultivares no processo de enxertia está diretamente relacionado com a proximidade entre os diferentes genótipos envolvidos no processo, sendo os auto-enxertos totalmente compatíveis, e os enxertos de diferentes espécies dentro do mesmo gênero, na maioria dos casos, são compatíveis, porém, os enxertos em diferentes gêneros da mesma família raramente são compatíveis (GOLDSCHMIDT et al., 2014).

Como o corte realizado para o enxerto interrompe o sistema vascular da planta, a reconexão dos vasos é necessária para manter o transporte normal de água e nutrientes. Isto sugere que a diferenciação vascular durante a cicatrização é um pré-requisito para um enxerto bem sucedido (WANG et al., 2017).

Alguns autores acreditam que a formação dos calos através das células parenquimáticas pode ocorrer tanto entre materiais compatíveis como incompatíveis, não sendo assim, um evento determinante para a compatibilidade no processo de enxertia. Para Moore (1986), a formação do calo não representa um sintoma de compatibilidade, os mesmos são provenientes de eventos, causando o não reconhecimento celular, sendo apenas uma reorganização celular. Porém, a regeneração e junção dos vasos condutores de forma

adequada é considerada como essencial para que haja compatibilidade entre diferentes materiais nessa técnica de propagação (HARTMANN et al., 2010; PINA et al., 2012).

A incompatibilidade é definida como sendo a incapacidade da perfeita união entre porta-enxerto e cultivar copa, ocasionando o crescimento anormal de uma planta enxertada, o que pode levar à morte prematura do enxerto devido a algum tipo de incompatibilidade fisiológica (MOORE, 1986).

Segundo Fontanazza e Baldini (1992), a incompatibilidade ocorre com ou sem descontinuidade dos tecidos. Os sintomas de incompatibilidade em espécies lenhosas incluem espessamento da casca na região de união, folhas cloróticas, queda prematura de folhas, atraso na brotação, diferenças de vigor entre porta-enxerto e copa, engrossamento excessivo do caule abaixo, acima ou no ponto de união do enxerto, rompimento da união do enxerto, redução do crescimento vegetativo, baixa produtividade e morte prematura das plantas (ZARROUK et al., 2010).

Nos últimos anos, tem sido relatado que não apenas mudanças anatômicas ocorrem durante a formação da união do enxerto, mas também as fisiológicas e moleculares que podem estar envolvidas no comportamento, diferente entre combinações compatíveis e incompatíveis (NOCITO et al., 2010; IRISARRI et al., 2015).

A compatibilidade no processo de enxertia também está relacionada ao metabolismo da planta. Estudos já foram realizados no intuito de se obter marcadores fisiológicos e bioquímicos para que seja possível detectar sintomas de incompatibilidade precocemente, de modo a ganhar tempo, visto que muitos dos sinais externos podem demorar anos para serem expressos na planta. Por ser um processo biológico, o estudo da incompatibilidade se torna muito difícil, devido às inúmeras interações que ocorrem entre enxerto e porta-enxerto durante o processo de enxertia, fazendo com que a incompatibilidade esteja relacionada com a influência de inúmeros fatores (PINA et al., 2012).

Para Melnyk et al. (2015) a maioria das evidências demonstra que a sinalização molecular desempenha um papel importante no processo de formação do enxerto. É possível que a compatibilidade do enxerto esteja associada à sinalização molecular, e que o compartilhamento de genes ou fatores móveis pode ser essencial para regular a reconexão vascular (WANG et al., 2017). Assim, as alterações fenotípicas induzidas pelo enxerto podem ser devido à troca de materiais genéticos entre diferentes tecidos (WANG et al., 2017).

Segundo Melnyk et al. (2015), trabalhos com marcadores de identidade celular são informativos para entender quanto as células estão contribuindo e sua importância para a formação da junção do enxerto. Ao se estudar hastes de *Arabidopsis* na região da

inflorescência, os marcadores associados à divisão celular são regulados à medida que as células do parênquima se dividem (ASAHINA et al., 2011). Nos hipocótilos, as divisões celulares ocorrem dentro de dois a três dias após a enxertia nos tecidos vasculares ao redor da junção do enxerto (YIN et al., 2012). Células no corte se expandem para preencher a lacuna e se assemelham a protoplastos com paredes celulares muito finas (MELNYK et al., 2015). Na maioria das espécies de plantas, o calo se forma e preenche as lacunas entre os tecidos adjacentes para permitir o contato entre os tecidos do enxerto e porta enxerto (GARNER; BRADLEY, 2017).

Pina e Errea (2005) levantaram diferentes razões que podem ter influência no sucesso da enxertia, como ser uma característica intrínseca do sistema da incompatibilidade celular, formação de plasmodesmos, conexões dos tecidos vasculares, presença de hormônios vegetais e atividade das peroxidases. Estudos recentes vêm demonstrando sinais de incompatibilidade no início do desenvolvimento e também de tecidos lenhosos os quais foram enxertados, apresentando a quebra das plantas na região de enxertia alguns anos após a união dos tecidos, quando já estão maiores e mais desenvolvidas, como no caso de plantas do gênero *Prunus*, e também *Pyrus* enxertadas em *Cydonia*.

Em alguns casos, é possível o não surgimento de sintomas externos de incompatibilidade, o qual ocasiona prejuízos cumulativos ao longo dos anos (PETINELI 2014). Valli et al. (2002), sugeriram como possíveis causas desta diferença de diâmetro a diferença de vigor entre enxerto e porta-enxerto e a possível formação de substâncias tóxicas no ponto de enxertia como os glicosídeos cianogênicos ‘prunasina’ e ‘amigdalina’. O acúmulo de cianeto liberado pela hidrólise dos glicosídeos na união do enxerto pode causar necrose das células cambiais e a descontinuidade vascular por alterações no xilema e floema (PEREIRA et al., 2018).

Para Aloni et al. (2010) os hormônios vegetais, auxina, citocinina e a giberelina, desempenham um papel fundamental na regulação das interações na enxertia. Além do etileno e o ácido jasmônico como moléculas importantes que participam do desenvolvimento do enxerto (YIN et al., 2012).

As auxinas são importantes nas primeiras fases de união entre enxerto e porta enxerto, agindo na rediferenciação vascular. Os hormônios produzidos em uma parte da planta, são transportados para seus sítios de ação, onde influenciam no crescimento (KOHATSU et al., 2013).

As alterações fenotípicas induzidas pelo enxerto sugere que os processos regulatórios subjacentes à comunicação do enxerto também envolvem um componente genético através da

transferência horizontal de genes (WANG et al., 2017). De acordo com Fuentes et al. (2014), genomas nucleares inteiros podem se transferir entre células de enxerto e porta-enxerto, levando à formação de novas espécies aloploidos.

A definição de eventos capazes de determinar a incompatibilidade entre os tecidos é de suma importância para se conhecer quais as constituições genéticas serão compatíveis entre si. Há um grande interesse que estes sintomas de incompatibilidade possam ser detectados o quanto antes, para que se possa ganhar tempo, devido ao fato de que algumas fruteiras podem apresentar sintomas de incompatibilidade anos após a enxertia, como é o caso de algumas combinações de plantas do gênero *Prunus* (ameixeiras e pessegueiros) (ZARROUK et al., 2010).

2.4.1 Tipos de incompatibilidade

A incompatibilidade na enxertia de plantas é influenciada por aspectos anatômicos, bioquímicos e genético (TRINCHERA et al., 2013; VRSIC et al., 2015; CHEN et al., 2016). A afinidade anatômica é de constituição dos tecidos, refere-se que os vasos condutores das duas plantas que se unem tenham diâmetros semelhantes e estejam, aproximadamente, em igual número. Já a afinidade bioquímica está relacionada à quantidade e composição da seiva (KOHATSU et al., 2013).

Errea (1998) e Zarrouk et al. (2006), classificaram a incompatibilidade do enxerto em dois tipos: translocada e localizada. A incompatibilidade translocada caracteriza-se por apresentar sintomas visíveis durante o desenvolvimento das plantas, entre os quais podem ser citados: parada precoce do crescimento, redução do crescimento radicular, degeneração dos tubos crivados e células companheiras na região de união do enxerto, acúmulo de açúcares e amido na copa e decréscimo no porta-enxerto, e alteração da continuidade vascular na união, produzindo espessamento da casca nessa região (ERREA, 1998). De forma geral, os sintomas externos podem começar a se manifestar na primeira metade da estação seguinte à enxertia, não ficando restrito à zona de união, translocando-se, inclusive, através do inter-enxerto, quando presente (BREEN, 1974). A incompatibilidade localizada pode ocorrer pela necrose do tecido cambial que provoca descontinuidade vascular e/ou ausência de diferenciação do tecido vascular na linha de união. Esta incompatibilidade está associada à má formação estrutural do ponto de união entre enxerto e porta-enxerto, a qual pode resultar em ruptura da enxertia, que, por sua vez, quase sempre está associada à descontinuidade das conexões

vasculares (floema e xilema), presença de tecidos parenquimatosos interrompendo essas conexões e descontinuidade da casca no ponto de união (ERREA et al., 1994).

Na propagação de plantas, a incompatibilidade localizada é um problema grave, pois a planta pode tardar vários anos para apresentar sintomas externos, causando perda de tempo, material vegetal e recursos financeiros (PINA; ERREA, 2005). Nesse tipo de incompatibilidade, vários estudos têm mostrado a implicação do acúmulo de fenóis, seguido de sua oxidação, com a linha necrótica que aparece no xilema das combinações incompatíveis (ERREA, 1998).

Resultados encontrados por Moore (1986), em estudo *in vitro* de pera *Pyrus communis* enxertada em marmeleiro *Cydonia oblonga* mostraram que a necrose celular na região da enxertia pode ocorrer em qualquer fase do desenvolvimento do enxerto, em particular durante a proliferação do calo. No entanto, resultados encontrados por Errea et al. (1994) e Ermell et al. (1997) não corroboram com Moore (1986), pelo contrário, eles mostram que os típicos sintomas de necrose observados em enxertos adultos, ocorreram depois da formação do calo, esta diferença entre experimentos *in vitro* e estudos *in vivo* pode ser explicada pela alta variação que ocorre na resposta de acordo com as condições ambientais do experimento. Estes autores sugerem que a formação do novo câmbio pode ocorrer tanto em combinações compatíveis como nas incompatíveis, e que a necrose dos tecidos pode ocorrer posteriormente, com a não formação dos tecidos vasculares.

Evidências demonstram que a sinalização molecular desempenha um papel importante no processo de formação do enxerto (MELNYK et al., 2015). É possível que a compatibilidade do enxerto esteja associada à sinalização molecular e ao compartilhamento de genes ou fatores móveis pode ser essencial para regular a reconexão vascular (WANG et al., 2017)

Além disso, em um experimento com enxertia de videiras, mais de 3000 mRNAs foram identificados como sendo transportados direcionalmente ou bi-direcionalmente entre o porta-enxerto e o enxerto (YANG et al., 2015). Resultados semelhantes foram obtidos por Zhang et al. (2016).

2.4.1.1 Incompatibilidade anatômica

Jefree e Yeoman (1983) observaram que as células adjacentes à região exposta à incisão na zona de enxertia entre porta-enxerto e enxerto são estimuladas a se dividir, dando origem a calos em até 48 horas pós-enxertia. Segundo os autores, a formação de calo está

associada ao câmbio vascular, ao parênquima do floema, ao parênquima do xilema e às camadas mais externas do córtex.

Em estudos realizados com enxertos de damasco introduzidos em porta-enxertos de ameixeira *Prunus salicicina*, observou-se que apenas alguma parte dos calos foi diferenciada a partir do câmbio, nos demais tecidos vasculares e córtex, sendo que, grande parte dos calos não chega a se diferenciar (PINA; EREA, 2005). Esta falta de diferenciação compromete as futuras conexões vasculares, resultando em descontinuidades do câmbio e um acúmulo de células de parênquima. Sintomas como a descontinuidade da casca, disfunção cambial e acúmulo de amido no enxerto foram observados em enxertos de pereiras (ERMEL et al., 1997).

Chen et al. (2016), avaliando diversas combinações em enxertia de Lichieiras *Litchi chinensis*, observaram que houve nova conexão de tecidos vasculares entre enxerto e porta-enxerto em combinações compatíveis, e uma camada necrótica e complexos vasculares anormais foram encontrados na união do enxerto nas combinações incompatíveis.

As principais características apresentadas pelas combinações incompatíveis de enxertos de peras/marmeleiros são a invaginação do câmbio e a descontinuidade vascular na interface do enxerto (ERMEL et al., 1999; ESPEN; COCUCCI; SACCHI, 2005).

Para Balbi et al. (2019) os principais tecidos responsáveis pela regeneração da enxertia são o córtex e o floema, que são tecidos meristemáticos capazes de se desdiferenciar e formar nova conexão vascular na região da enxertia.

2.4.1.2 Incompatibilidade bioquímica

O processo para determinação da compatibilidade entre porta-enxerto e enxerto por meio de marcadores bioquímicos é baseado no comportamento das isoenzimas nas porções vegetais envolvidas na enxertia. Quando o fenótipo das enzimas corresponde tanto no porta-enxerto como no enxerto, espera-se que haverá compatibilidade, resultando em toda a restauração dos tecidos vasculares. Porém, se houver diferença neste fenótipo, provavelmente a formação do calo ou alguma outra etapa que consolida a enxertia será comprometida (SANTAMOUR, 1988).

Gulen et al. (2002) realizaram estudos a fim de identificar isoenzimas capazes de serem marcadores os quais poderiam prever a compatibilidade entre pereiras (*Pyrus Communis*) e marmeleiros (*Cydonia oblonga*), e sugeriram que uma isoperoxidase pode estar associada à compatibilidade de *Pyrus communis/Cydonia oblonga*, pois uma banda

observada em combinações compatíveis não foi observada em combinações incompatíveis. Santamour (1988) sugeriu que as diferenças em composição de isoperoxidase entre enxerto e porta-enxerto podem resultar em lignificação anormal e falta de conexões vasculares na união do enxerto, o que resulta numa combinação incompatível.

Nocito et al. (2010), avaliando calos de marmeleiros e de pereiras incompatíveis e compatíveis em cultura de tecidos, observou que as combinações compatíveis cresceram sem apresentar quaisquer sintomas aparentes de stress e com peso 30% superior as combinações incompatíveis.

Irisarri et al. (2015) cultivando calos e simulando enxertia *in vitro* com calos de pera *Pyrus communis* de duas cultivares (Conferência e William's) e calos do porta-enxerto de marmelo (*Cydonia oblonga* Mill. BA-29), sendo a cultivar Conferência considerada compatível e a cultivar William's considerada incompatível, encontrou que as atividades de SOD aumentaram até seis horas após o corte e diminuíram gradualmente no período posterior após o ferimento em cultivares compatíveis e incompatíveis. As atividades enzimáticas SOD foram significativamente maiores 1 e 10 dias após a enxertia na cultivar Conferência compatível do que na incompatível William's.

Como uma situação de estresse para as plantas, o processo de cicatrização de enxerto desencadearia os sistemas de defesa antioxidante para remover o excesso de espécies reativas de oxigênio (EROs), mantendo o equilíbrio do sistema redox celular (BAXTER et al., 2014). Fernández-García et al. (2004) observaram que a formação da união do enxerto coincidiu com um aumento das atividades de peroxidase (POD) e catalase (CAT), em lidar com o estresse oxidativo e alcançar enxertos bem sucedidos. Considerando que os enxertos incompatíveis apresentaram menores atividades de POD e superóxido dismutase (SOD) e níveis mais altos de peróxido de hidrogênio na zona de enxerto (ALONI et al., 2008; NOCITO et al., 2010). Enquanto as enzimas POD e polifenol oxidase (PPO) também estão associadas aos processos de lignificação, o que é essencial para uma união de enxerto forte e permanente (CHEN et al., 2016).

2.5 Espécies Reativas de Oxigênio (EROs)

Cerca de bilhões de anos atrás, o oxigênio molecular foi introduzido em nosso meio pelos organismos fotossintéticos. Uma consequência inevitável do metabolismo aeróbico é a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) (GILL; TUTEJA, 2010).

As EROs incluem radicais livres como o ânion superóxido (O_2^-), o radical hidroxila (OH^\cdot), bem como moléculas não radicais como o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), oxigênio singlete (1O_2), dentre outros (SHARMA et al., 2012).

Estresses ambientais, como seca, salinidade, geadas, toxicidade de metais e radiação, assim como ataque de patógenos e ferimentos, levam a uma maior geração de EROs em plantas que afetam a homeostase celular (MITTLER et al., 2004). Todas as EROs são extremamente prejudiciais para organismos em altas concentrações. Quando o nível das EROs excede os mecanismos de defesa, diz-se que uma célula está em um estado de 'estresse oxidativo'. Uma superprodução de EROs pode representar uma ameaça às células, causando peroxidação de lipídios, oxidação de proteínas, danos aos ácidos nucleicos, inibição enzimática, ativação da via de morte celular programada e, finalmente, levando à morte das células (GILL; TUTEJA, 2010).

Apesar de sua ação destrutiva, as EROs são também descritas como mensageiros em uma variedade de processos celulares (DESIKAN et al., 2001). Se as EROs agem como moléculas prejudiciais ou sinalizadoras, depende do perfeito equilíbrio entre a produção e a sua eliminação. Devido aos papéis multifuncionais das EROs é necessário que as células controlem seu nível perfeitamente para evitar qualquer dano oxidativo e não eliminá-las completamente (SHARMA et al., 2012).

O peróxido de hidrogênio desempenha um duplo papel nas plantas: em baixas concentrações, atua como uma molécula sinalizadora, desencadeando tolerância a diversos estresses bióticos e abióticos e, em altas concentrações, leva à peroxidação de lipídeos (QUAN et al., 2008). O peróxido de hidrogênio também é aceito como mensageiro para sinais gerados por meio das EROs devido a sua vida relativamente longa e alta permeabilidade através de membranas (QUAN et al., 2008; GILL; TUTEJA, 2010).

A peroxidação de membranas plasmáticas leva ao extravasamento do conteúdo celular, rápida dessecação e a morte celular (FOYER; NOCTOR, 2000; SCANDALIOS, 1993). O malondialdeído (MDA) é um dos produtos finais da peroxidação de ácidos graxos insaturados nos fosfolipídios e é responsável pelos danos à membrana celular (SHARMA et al., 2012).

Mais recentemente, também foi demonstrado que as EROs influenciam a expressão de vários genes e vias de transdução de sinais que sugerem que as células desenvolveram estratégias para usar EROs como estímulos biológicos e sinais que ativam e controlam vários programas genéticos de resposta ao estresse (GILL; TUTEJA, 2010).

Exposição de plantas a situações de estresse, como o corte do enxerto, pode desencadear os sistemas de defesa antioxidante. Existem indicações de que, na região da enxertia de combinações incompatíveis o nível de EROs é aumentado ou existe um sistema de desintoxicação menos eficiente. Enxertos incompatíveis produzem grandes quantidades de peróxido de hidrogênio, radicais superóxido provocando aumento dos níveis de peroxidação de lipídeos (ALONI et al., 2008; NOCITO et al., 2010 IRISARRI et., 2015).

Gulen et al. (2002) e Baxter et al. (2014), relatam que o sistema de defesa antioxidante está envolvido no processo de cicatrização de enxerto. Almansa et al. (2002) mostraram que a atividade de SOD nas folhas foi controlada por porta-enxertos. Com base na SOD, POD e PPO no processo de formação da união de enxerto, estas atividades enzimáticas foram sugeridas como índice para a predição da compatibilidade precoce de enxerto (GULEN et al., 2002). Para Chen et al. (2016) combinações compatíveis tiveram maiores atividades enzimáticas.

Nocito et al. (2010) e Irisarri et al. (2015) atribuem a incompatibilidade em enxertia de pereiras e marmeleiros simulada em cultura de tecidos a um sistema antioxidante menos eficiente.

3 HIPÓTESES

A concentração de Peróxido de Hidrogênio H_2O_2 é maior nas combinações incompatíveis, provocando danos celulares.

A Peroxidação lipídica é menor nas combinações compatíveis, devido a um melhor metabolismo antioxidante.

4 OBJETIVOS

Correlacionar o metabolismo antioxidante e a reconexão dos tecidos vasculares da enxertia na compatibilidade em combinações intergenéricas de marmeleiros e pereiras.

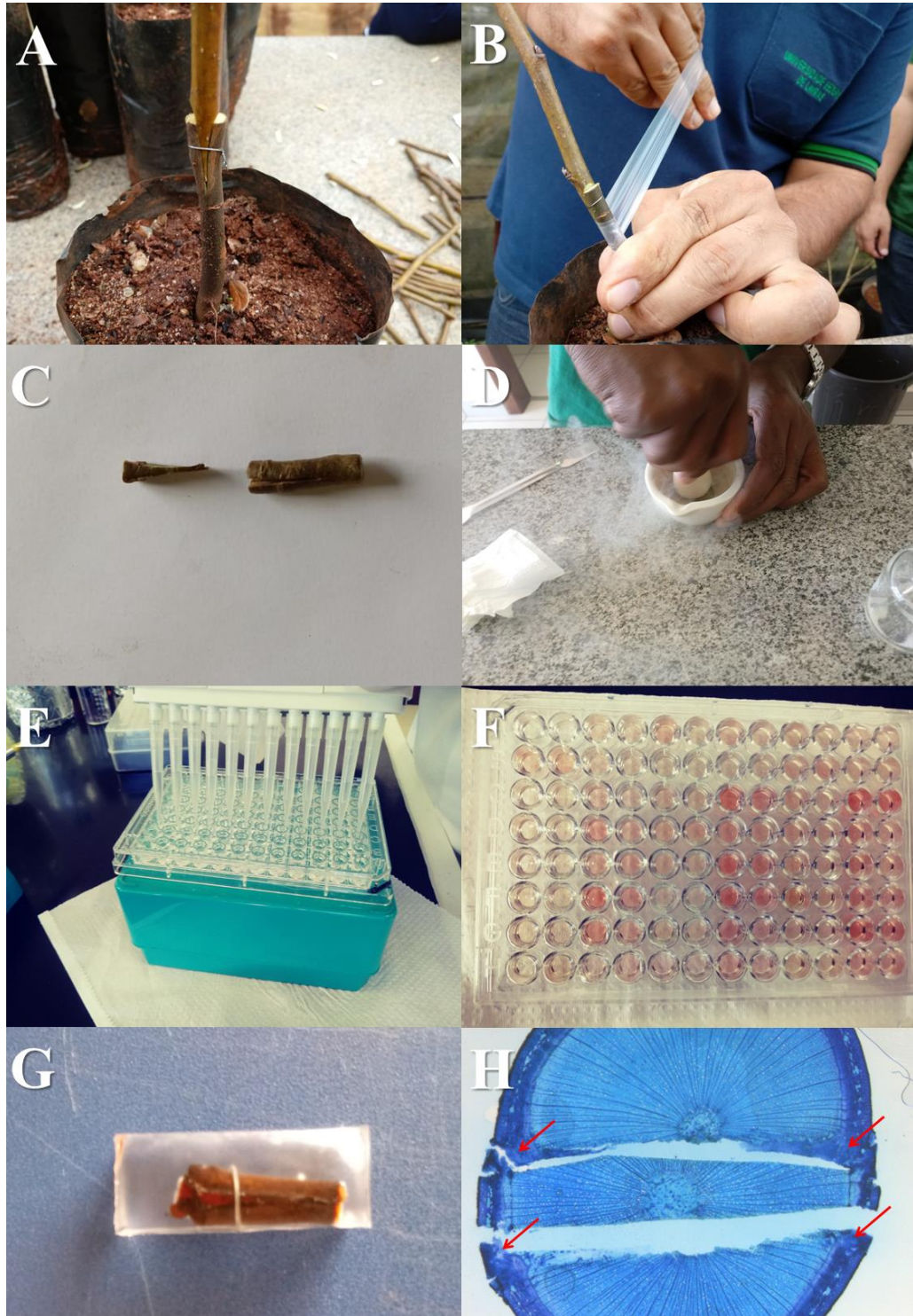
5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Condução do experimento

O experimento foi conduzido no Setor de Fruticultura pertencente ao Departamento de Agricultura, da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras-MG. As sementes dos porta-enxertos *Pyrus calleryana* e *Chaenomeles sinensis* foram extraídas de frutos maduros, coletados no mês de abril de 2016, nas coleções do Núcleo de Produção de Mudanças de São Bento do Sapucaí, SP, pertencente a Coordenadoria de Assistência Técnica e Integral (CATI) do Estado de São Paulo. Após sua extração, as sementes foram lavadas em água corrente, secas a sombra por 48 horas e estratificadas a frio-úmido. Para o processo de estratificação, as sementes foram depositadas entre camadas de algodão umedecido e alojadas, em placas de Petri, que foram colocadas dentro de um saco plástico transparente e assim deixadas dentro de uma geladeira, a temperatura de 4 °C por um período de 30 dias. Passado esse período, as sementes foram semeadas em bandejas de polipropileno expandido, contendo 72 células com capacidade de 120 cm³ cada, preenchidas com o substrato vermiculita expandida de grânulos médios, conforme tecnologia recomendada por Pio et al. (2005).

Após 60 dias, as plântulas foram transferidas para sacolas plásticas com capacidade de 1,5 dm³ de substrato, constituído por solo de barranco, areia e compostagem orgânica, em proporções iguais e adicionado o fertilizante Super Fosfato Simples na proporção de 5 g/dm³. As mudas foram conduzidas com haste única em viveiro telado com 50 % de sombreamento. Foram enxertadas pelo método de garfagem de fenda cheia, no mês de junho de 2017, quando apresentavam diâmetro médio de 7 mm a 15 cm de altura, onde foi realizada a enxertia. Os garfos para enxertia foram coletados das coleções de pereira e marmeleiro, situadas no Setor de Fruticultura da UFLA. Os garfos foram padronizados com aproximadamente 10 cm de comprimento e 7 mm de diâmetro (FIGURA 1A).

Figura 1 - Condução dos experimentos. Enxertia por garfagem de fenda cheia (A). Amarrio da enxertia (B). Separação da enxertia para análises bioquímicas (C). Maceração do material em Nitrogênio líquido para análises bioquímicas (D). Pipetagem das amostras em microplacas para leitura (E). Amostras na placa após reação (F). Enxertia emblocada em Historesina para cortes anatômicos (G). Corte histológico de *Mendoza Inta 37* sobre *Chaenomelessinensis* aos 45 dias após a enxertia (H). As setas vermelhas indicam onde foi menssurado a área do calo formado.



Fonte: Do autor (2019).

Foram enxertadas nos porta-enxertos *Pyrus calleryana* e *Chaenomeles sinensis*, as cultivares de pereira: Packham's Triumph, William's, Triunfo, Primorosa e Shenseri, a cultivar de marmeleiro Mendoza Inta 37 e também as espécies *Pyrus calleryana* e *Chaenomeles sinensis*. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 8, sendo o primeiro fator, os dois porta-enxertos, e o segundo, as oito copas, com três repetições e 15 enxertos por parcela.

Após a realização da enxertia os garfos foram amarrados com fitas plásticas (FIGURA 1B) e protegidos com um saco plástico com dimensões de 15 x 2 cm, com o intuito de se formar uma câmara úmida e se evitar a desidratação dos garfos. Passados 30 dias, os sacos plásticos foram removidos cuidadosamente e aos 60 dias após a realização da enxertia, removeu-se as fitas plásticas que estavam amarradas na região da enxertia.

As mudas foram mantidas em viveiro telado (50% de luminosidade) e irrigadas periodicamente. Foi realizada a retirada de plantas invasoras, além da desbrota do porta-enxerto e também do enxerto, deixando apenas a maior brotação para avaliação.

5.2 Análises fitotécnicas

Foram avaliadas as porcentagens de brotação dos enxertos, considerando como gema brotada, as que haviam se desenvolvido e formado alguma folha, o comprimento da brotação, sendo mensurado da base do broto até a gema apical e o diâmetro a um cm da base da brotação do enxerto, aos 120 dias após a enxertia.

Os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade. As análises foram realizadas pelo programa computacional Sistema para Análise de Variância – SISVAR (FERREIRA, 2011).

5.3 Análises bioquímicas

As análises foram realizadas no laboratório de Bioquímica e Fisiologia Molecular do setor de Fisiologia Vegetal do Departamento de Biologia da UFLA.

Para as avaliações bioquímicas foram coletadas amostras na região da enxertia, aproximadamente um cm acima e um cm abaixo do corte da enxertia aos 5, 15, 25, 35 e 45 dias após a enxertia. Foram coletadas amostras de três mudas por tratamento em cada época de coleta. As amostras foram congeladas em nitrogênio líquido e armazenadas em freezer a -80 °C, até o momento de realização das análises.

Para a realização das análises, as amostras foram separadas em duas, a porção referente à copa, da porção referente ao porta-enxerto (FIGURA 1C), sendo dois porta-enxertos, oito copas, cinco épocas de coletas, três repetições e duas porções por muda, totalizando 480 amostras que foram analisadas em duplicata.

Foram avaliados o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e a peroxidação lipídica (concentração de malondialdeído - MDA). 200 mg da casca das amostras foram coletadas e maceradas em nitrogênio líquido com polivinilpolipirrolidona (PVPP), homogeneizados em 1,5 mL de ácido tricloroacético (TCA) 0,1% (m/v) e centrifugados a 12.000 g por 15 minutos, a 4°C.

O peróxido de hidrogênio foi determinado medindo-se a absorvância a 390 nm em um meio de reação, contendo 45 μ L tampão fosfato de potássio 10 mM, pH 7,0, 45 μ L do extrato e 90 μ L de iodeto de potássio 1M (VELIKOVA; YORDANOV; EDREVA, 2000). A quantificação foi realizada, com base na curva padrão de peróxido de hidrogênio, com concentrações conhecidas.

A peroxidação lipídica foi determinada por meio da quantificação de espécies reativas ao ácido tiobarbitúrico, conforme descrito por Buege e Aust (1978). Alíquotas (125 μ L) do sobrenadante foram adicionadas ao meio de reação, contendo 0,5% (m/v) de ácido tiobarbitúrico (TBA) e 10% (m/v) de TCA, incubando-se, em seguida, a 95 °C, por 30 minutos. A reação foi paralisada por resfriamento rápido em gelo e as leituras foram determinadas em espectrofotômetro, a 535 nm e 600 nm. O TBA forma complexos de cor avermelhada com aldeídos de baixa massa molecular, como o malondialdeído (MDA), produto secundário do processo de peroxidação. A concentração do complexo MDA/TBA foi calculada pela seguinte equação: $[MDA] = (A_{535} - A_{600}) / (\xi \cdot b)$, em que: ξ (coeficiente de extinção = $1,56 \times 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$); b (comprimento ótico = 1).

Os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias pelo teste de Scott Knott, ao nível de 5% de probabilidade. As análises foram realizadas pelo programa computacional Sistema para Análise de Variância – SISVAR (FERREIRA, 2011).

5.4 Análises anatômicas

Os cortes anatômicos foram realizados no laboratório de Anatomia da Madeira do Departamento de Ciências Florestais da UFLA. Para as avaliações anatômicas foram coletadas amostras na região da enxertia, aproximadamente um cm acima e um cm abaixo do corte da enxertia aos 5, 15, 25, 35 e 45 dias após a enxertia, de uma muda por tratamento em

cada época de coleta, totalizando 80 amostras. Após a coleta, as amostras foram fixadas em F.A.A. 70 % (formaldeído, ácido acético glacial p.a. e etanol 70%, na proporção de 0,5: 0,5: 9) pelo tempo de 48 h e posteriormente conservadas em etanol 70 % (KRAUS; ARDUIN, 1997).

As amostras foram submetidas a uma série etanólica para desidratação (etanol 70, 80, 90 e 100%). Em seguida, o material foi imerso em solução de pré-infiltração, composta por etanol 100% e resina base (1:1) por 24 horas. Para a polimerização foi utilizado o kit historesina segundo recomendações do fabricante (hidroxietilmetacrilato, Leica, Heidelberg, Alemanha) (FIGURA 1G). Secções transversais foram realizadas com espessura de 12 µm, utilizando-se micrótomo de deslize Leica Jung SM 2000. As secções foram clarificadas em hipoclorito de sódio por duas horas, lavadas três vezes em água destilada por 30 segundos cada, coradas com azul de toluidina a 1%, e foram montadas em Verniz Vitral®.

Para captura das imagens, as fotomicrografias foram obtidas com o auxílio de microscópio óptico Zeiss, com sistema de captura acoplado.

Posteriormente, foram mensuradas a espessura da casca do enxerto e do porta-enxerto, em quatro pontos diferentes de cada amostra e a área da massa de calos formada foi mensurada nos quatro pontos onde existe encontro do câmbio do porta-enxerto com o câmbio do enxerto, conforme (FIGURA 1H) com auxílio do software de análise de imagem (ImageJ).

Os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias pelo teste de Scott Knott, ao nível de 5% de probabilidade. As análises foram realizadas pelo programa computacional Sistema para Análise de Variância – SISVAR (FERREIRA, 2011).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a porcentagem de brotação, houve interação entre os porta-enxertos e as cultivares copas. Sobre o porta-enxerto *Pyrus calleryana* apenas o *Chaenomeles sinensis* obteve brotação inferior (10%) (TABELA 1), quando comparada às demais cultivares, destacando-se as cultivares Triunfo e Primorosa com 100% de brotação. Entretanto, sobre o porta-enxerto *Chaenomeles sinensis* a cultivar de marmeleiro Mendoza Inta 37 (100%), a pereira Triunfo (90%) e o próprio *Chaenomeles sinensis* (90%), apresentaram as maiores médias, seguidos pelas cultivares William's (69%), Packham's Triumph (63,3%) e Shenseri (53,3%). É importante destacar que não houve pegamento do *Pyrus calleryana* sobre o *Chaenomeles sinensis*, demonstrando que há indícios de incompatibilidade entre ambos.

Comparando a porcentagem de brotação de cada copa sobre ambos os porta-enxertos (TABELA 1), as cultivares Triunfo, William's, Shenseri e Mendoza Inta 37 não apresentaram diferenças estatísticas sobre os dois porta-enxertos. As cultivares Triunfo (100%) e Primorosa (100%) foram superiores quando enxertadas sobre o porta-enxerto *Pyrus calleryana* e somente a cultivar Mendoza Inta 37 foi superior (100%) quando enxertado *Chaenomeles sinensis*.

Tabela 1 - Médias de brotação, comprimento e diâmetro dos enxertos das cultivares de pereiras, Triunfo, Primorosa, Packham's Triumph, William's e Shenseri, a cultivar de marmeleiro Mendoza Inta 37 e dos próprios porta-enxertos, aos 120 dias pós-enxertia (DPE).

Tratamentos	Brotação (%)		Comprimento (cm)		Diâmetro (mm)	
	<i>Pyrus calleryana</i>	<i>Chaenomeles sinensis</i>	<i>Pyrus calleryana</i>	<i>Chaenomeles sinensis</i>	<i>Pyrus calleryana</i>	<i>Chaenomeles sinensis</i>
Triunfo	100,0 a A	90,0 a A	37,3 b A	3,0 c B	4,4 b A	2,6 b B
Primorosa	100,0 a A	33,3 c B	21,8 c A	6,0 c B	4,1 b A	3,2 b A
Packham's Triumph	89,0 a A	63,3 b B	20,3 c A	6,3 c B	4,4 b A	3,3 b A
William's	90,0 a A	69,0 b A	10,6 d A	3,6 c B	3,8 b A	3,6 b A
Shenseri	50,0 c A	53,3 b A	26,8 c A	3,1 c B	5,7 a A	2,9 b B
Mendoza Inta 37	90,0 a A	100,0 a A	47,4 a A	53,6 b A	4,1 b A	4,9 a A
<i>Chaenomeles sinensis</i>	10,0 d B	90,0 a A	10,3 d B	73,1 a A	1,3 c B	5,0 a A
<i>Pyrus calleryana</i>	66,6 b A	0,0 d B	34,1 b A	0,0 c B	4,1 b A	0,0 b B
CV	16,74		29,23		20,36	

As médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha dentro de cada variável pertencem a um mesmo grupo pelo teste Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019).

Para o comprimento das brotações, também houve interação entre as copas e os porta-enxertos (TABELA 1). Sobre o *Pyrus calleryana* a maior média foi do marmeleiro Mendoza

Inta 37 (47,4 cm), seguida pela Triunfo (37,3 cm) e pelo próprio *Pyrus* (34,1 cm). Entretanto, sobre o porta-enxerto *C. sinensis*, a auto enxertia (73,1 cm) e o marmeleiro Mendoza Inta 37 (53,6 cm) se destacaram em relação às demais copas analisadas. Com relação ao enxerto de *Pyrus calleryana*, não houve pegamento. Ao analisar as diferentes copas sobre ambos os porta-enxertos, observa-se que não houve diferença para cultivar de marmeleiro Mendoza Inta 37. O comprimento do enxerto para a autoenxertia do *C. sinensis* foi superior (73,1 cm). As demais cultivares foram superiores sobre o *Pyrus calleryana*.

Para a variável diâmetro das brotações houve interação entre os fatores. Sobre o *Pyrus calleryana* a cultivar Shenseri (5,7 mm) apresentou a maior média, e o *C. sinensis* a menor média (1,3 mm). As demais cultivares copas não diferiram estatisticamente entre si. Sobre o porta-enxerto *C. sinensis*, a autoenxertia (5,0 mm) e o marmeleiro Mendoza Inta 37 (4,9 mm) foram superiores as demais copas. Comparando cada copa sobre ambos os porta-enxertos o *C. sinensis* foi superior na autoenxertia e as copas de Triunfo e Shenseri foram superiores sobre o *P. calleryana*.

Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Melo et al. (2017), onde as cultivares de pereiras foram superiores quando enxertadas sobre o *Pyrus calleryana* e as cultivares de marmeleiros quando enxertadas sobre o *Chaenomeles sinensis*. E também corroboram com Entelmann et al. (2010) que avaliaram o desenvolvimento de quatro cultivares de marmeleiro *Cydonia oblonga* e uma de *Chaenomeles sinensis*, enxertadas sobre *Pyrus calleryana* e *Chaenomeles sinensis* e obtiveram bons desempenhos, a exceção do *Chaenomeles*, que só desenvolveu na auto-enxertia.

Pio et al. (2008), também não obtiveram desenvolvimento de mudas de pereiras enxertadas em *Chaenomeles sinensis*.

Nocito et al. (2010), simulando enxertia *in vitro* com calos de pereira (*Pyrus communis*) com marmeleiro (*Cydonia oblonga*), em uma combinação considerada incompatível, observaram que o desenvolvimento era afetado e concluíram haver um estresse oxidativo causado pelas EROS e por uma atividade diferenciada das enzimas do metabolismo antioxidante (APX, CAT, SOD, GR, DHR). Resultados similares aos de Nocito et al. (2010), foram encontrados por Irisarri et al. (2015). Com base nesses resultados optou-se por avaliar, neste trabalho, os teores de peróxido de hidrogênio e a peroxidação lipídica na região da enxertia dos porta-enxertos sob diferentes copas em condições de campo.

Para o teor de peróxido de hidrogênio na porção referente ao porta-enxerto sobre o *Pyrus calleryana*, não houve diferença significativa entre os enxertos (TABELA 2).

Tabela 2 - Médias da concentração de Peróxido de Hidrogênio e teor de MDA das cinco épocas de coleta, na casca do porta-enxerto e do enxerto na região da enxertia, dos porta-enxertos *Pyrus calleryana* e *Chaenomeles sinensis* enxertados com as cultivares de pereira, Triunfo, Primorosa, Packham's Triumph, William's e Shenseri, a cultivar de marmeleiro Mendoza Inta 37 e com os próprios porta-enxertos.

Tratamentos	Peróxido de Hidrogênio no Porta-enxerto (nM/g MF)		Peróxido de Hidrogênio o Enxerto (nM/g MF)		Peroxidação lipídica no Porta-enxerto (uM MDA/g MF)		Peroxidação lipídica no Enxerto (uM MDA/g MF)	
	<i>Pyrus calleryana</i>	<i>Chaenomeles sinensis</i>	<i>Pyrus calleryana</i>	<i>Chaenomeles sinensis</i>	<i>Pyrus calleryana</i>	<i>Chaenomeles sinensis</i>	<i>Pyrus calleryana</i>	<i>Chaenomeles sinensis</i>
Triunfo	98,47 a A	132,40 b A	460,66 a A	441,51 b A	426,66 a B	564,23 a A	183,33 c A	203,45 c A
Primorosa	86,53 a B	160,53 a A	509,49 a A	470,78 b A	418,33 a A	398,71 b A	141,53 d A	160,25 c A
Packham's Triumph	110,24 a A	119,67 b A	340,98 b A	285,92 c A	316,02 b A	340,12 b A	232,43 c A	209,74 c A
William's	67,24 a A	84,78 c A	301,95 b A	316,19 c A	558,07 a A	414,35 b B	223,84 c A	186,15 c A
Shenseri	111,04 a A	128,29 b A	567,34 a A	579,79 a A	472,18 a A	349,22 b B	120,89 d A	110,25 c A
Mendoza Inta 37	122,27 a A	156,19 a A	413,07 a A	450,54 b A	330,51 b A	353,71 b A	360,44 b A	263,71 b B
<i>Chaenomeles sinensis</i>	121,18 a A	99,57 c A	480,26 a A	313,88 c B	468,97 a A	440,76 b A	514,74 a A	540,25 a A
<i>Pyrus calleryana</i>	102,38 a B	169,90 a A	261,24 b A	362,30 c A	380,12 b A	423,33 b A	350,12 b A	298,59 b A
CV	35,44		26,33		30,2		34,2	

As médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha dentro de cada variável pertencem a um mesmo grupo pelo teste Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019)

Com relação ao *Chaenomeles sinensis* os enxertos *P. calleryana* (169,90 nM/g MF), Primorosa (160,53 nM/g MF) e Mendoza Inta 37 (156,19 nM/g MF) proporcionaram maior teor de peróxido de hidrogênio. Em contrapartida, os enxertos de William's (84,78 nM/g MF) e o auto-enxerto *Chaenomeles sinensis* (99,57 nM/g MF) foram as que proporcionaram os menores teores de peróxido de hidrogênio.

Comparando todos os enxertos em ambos os porta-enxertos (TABELA 2), as cultivares *P. calleryana* (169,90 nM/g MF) e Primorosa (160,53 nM/g MF) proporcionaram os maiores teores de peróxido de hidrogênio ao porta-enxerto *Chaenomeles sinensis*. Para os demais enxertos, não houve diferença significativa entre os porta-enxertos.

Quanto ao teor de peróxido de hidrogênio na porção referente ao enxerto (TABELA 2), sobre o *P. calleryana*, os enxertos Shenseri (567,34 nM/g MF), Primorosa (509,49 nM/g MF), *C. sinensis* (480,26 nM/g MF), Triunfo (460,66 nM/g MF) e Mendoza Inta 37 (413,07 nM/g MF) apresentaram maiores teores de peróxido de hidrogênio em comparação aos demais enxertos. Sobre o porta-enxerto *C. sinensis*, o enxerto de Shenseri (579,79 nM/g MF) foi superior aos demais enxertos apresentando o maior teor de peróxido de hidrogênio.

Comparando todos os enxertos em ambos os porta-enxertos, o autoenxerto *C. sinensis* apresentou menor teor de peróxido de hidrogênio (313,88 nM/g MF). Para os demais enxertos, não houve diferença significativa entre os porta-enxertos.

Ao analisar os resultados obtidos para a peroxidação lipídica na porção referente ao porta-enxerto (TABELA 2), observa-se que sobre o *P. calleryana* os enxertos William's (558,07 nM/g MF), Shenseri (472,18 nM/g MF), *C. sinensis* (468,97 nM/g¹ MF), Triunfo (426,66 nM/g MF) e Primorosa (418,33 nM/g MF) proporcionaram as maiores peroxidação lipídica em relação aos demais enxertos. Por outro lado, sobre o *C. sinensis* o enxerto de Triunfo (564,23 nM/g MF) proporcionou a maior peroxidação lipídica em comparação aos demais enxertos. Ao se comparar todos os enxertos em ambos os porta-enxertos, observa-se que a Triunfo proporcionou maior peroxidação lipídica (564,23 nM/g MF) ao porta-enxerto *C. sinensis*. Em contrapartida, os enxertos de William's (558,07 nM/g MF) e Shenseri (472,18 nM/g MF) proporcionaram maior peroxidação lipídica ao porta-enxerto *P. calleryana*. Os demais enxertos não apresentaram diferença significativa estatisticamente entre os porta-enxertos.

Para a peroxidação lipídica na porção referente ao enxerto (TABELA 2), nota-se que sobre o *P. calleryana* o enxerto de *C. sinensis* apresentou maior valor (514,74 nM/g MF) em relação aos demais enxertos. Em contrapartida, a Primorosa (141,53 nM/g MF) e a Shenseri

(120,89 nM/g MF) foram os que apresentaram as menores médias de peroxidação lipídica. Sobre o porta-enxerto *C. sinensis*, o autoenxerto (540,25 nM/g MF) apresentou maior peroxidação lipídica, seguido pelos enxertos de *P. calleryana* (298,59 nM/g MF) e Mendoza Inta 37 (263,71 nM/g¹ MF), que foram superiores aos demais enxertos. Comparando todos os enxertos em ambos os porta-enxertos, o enxerto de Mendoza Inta 37 proporcionou maior peroxidação lipídica ao porta-enxerto *P. calleryana*. Ao se analisar os demais enxertos, não se observa diferença significativa entre os porta-enxertos.

Estes resultados mostram valores de peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica similares entre combinações compatíveis e incompatíveis. Como por exemplo o *P. calleryana* que obteve 0% de brotação sobre o *C. sinensis*, apresentou teor de peróxido de hidrogênio na porção do porta enxerto de 102,38 nM/g MF, enquanto a autoenxertia de *C. sinensis*, que obteve 90% de pegamento apresentou teor 169,90 nM/g MF de peróxido de hidrogênio. Essa mesma combinação não apresentou diferença estatisticamente no teor de peróxido de hidrogênio na porção referente a copa, nem na peroxidação lipídica em ambas as porções avaliadas.

Outra combinação bastante distinta nas condições de campo é o caso da Triunfo, que obteve 37,3cm e 4,4mm para comprimento e diâmetro, respectivamente, sobre o *P. calleryana*, e apenas 3,0cm e 2,6mm para as mesmas variáveis sobre o *C. sinensis*. Contudo, estas combinações não apresentaram diferenças significativas para os teores de peróxido de hidrogênio nas porções avaliadas. Por outro lado, ao se analisar a peroxidação lipídica na porção referente ao porta-enxerto o *C. sinensis* apresentou maior peroxidação lipídica (564,23 uM MDA/g MF), contra (426,66 uM MDA/g MF) do *P. calleryana* (TABELA 2). Com isso, se pode inferir que não seria a produção de EROs ou um metabolismo antioxidante agindo de forma distinta entre as combinações copa/porta-enxerto que levaria à incompatibilidade no processo da enxertia.

Estes resultados não corroboram com Nocito et al. (2010), que trabalhando com duas combinações de calos de pereira e marmeleiro, em condições de cultura de tecidos, encontraram atividade enzimática superiores na combinação considerada incompatível. No entanto, os valores de peroxidação lipídica encontrados por esses autores eram infinitamente menores, na ordem de mil vezes menores. Os mesmos autores encontraram níveis de expressão de alguns genes associados à senescência superiores na combinação incompatível.

Resultados semelhantes aos de Nocito et al. (2010), foram encontrados por Irisarri et al. (2015) trabalhando também em cultura de tecidos com duas combinações de pereiras e

marmeleiro. Estes autores acreditam que a incompatibilidade pode ser um processo de rejeição devido a um sistema antioxidante menos eficiente, e produção de tipos de células inadequadas, que não conseguem conexão perfeita entre enxerto e porta-enxerto no início da formação do calo. Segundo os mesmos autores, houve expressão diferenciada de genes responsáveis pelas enzimas do metabolismo antioxidante.

Entretanto, o fato do presente estudo não corroborar com os resultados obtidos pelos diferentes autores citados, se deve ao fato das diferentes condições em que os trabalhos foram realizados. Neste trabalho, o material utilizado foi composto por tecidos formados e não apenas por células indiferenciadas de calos. Segundo Rivero et al. (2003), os tecidos completamente diferenciados são muito mais eficientes em regular seu metabolismo antioxidante. Além disso, existe um sistema antioxidante não enzimático composto por metabólitos secundários que são capazes de complementar o sistema antioxidante enzimático.

Chen et al. (2016), avaliando enxertia de *Lichia* em 13 diferentes porta-enxertos, correlacionaram os que apresentaram maior taxa de pegamento do enxerto com maior atividades das enzimas POD, SOD E PPO, o que segundo os autores, seria responsável pelo melhor pegamento.

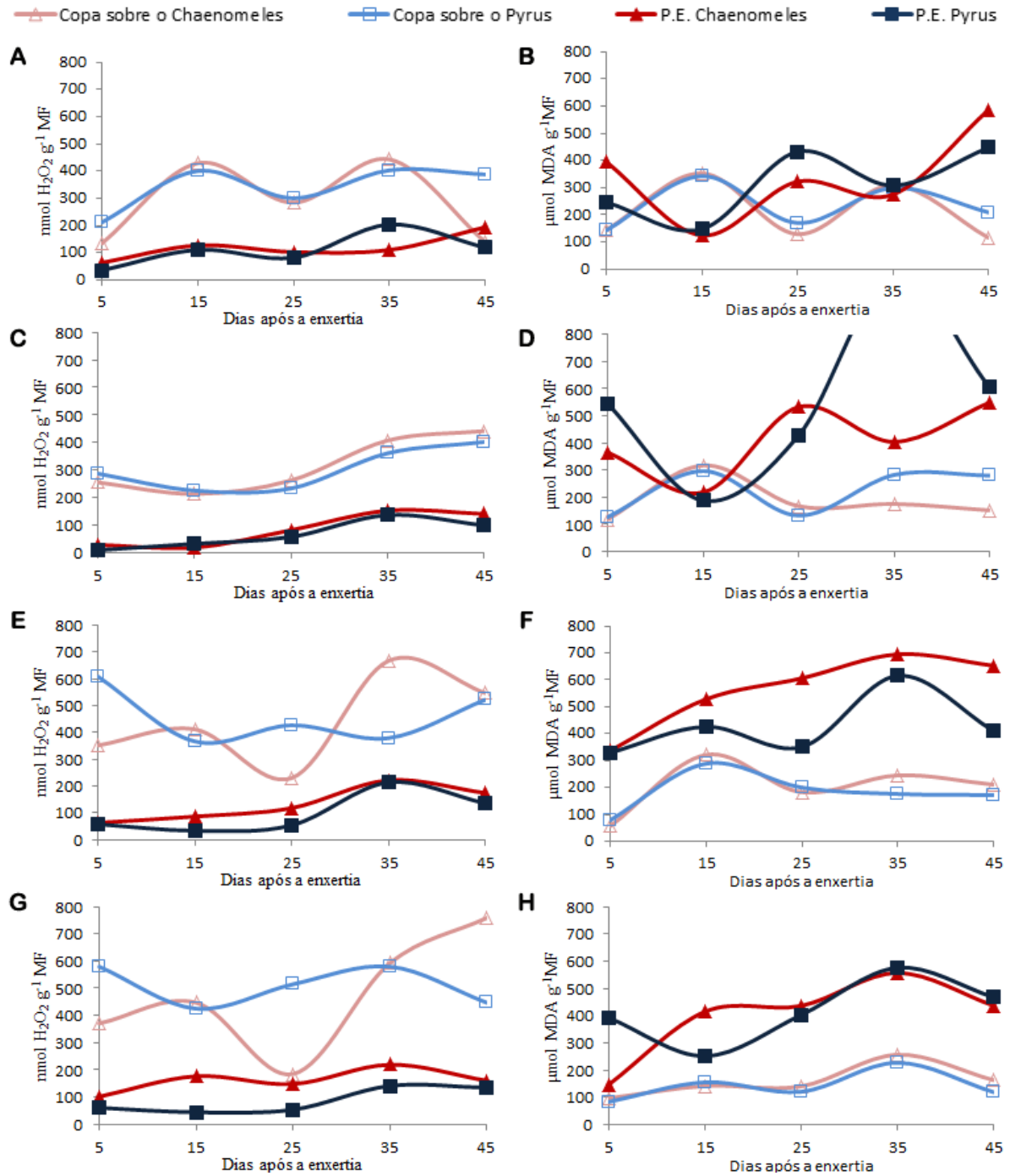
Assunção et al. (2016), avaliando compostos fenólicos na enxertia de videira, encontraram maiores concentrações na região da enxertia e postularam ser referente a cicatrização, porém, a concentração era maior nas combinações compatíveis.

Hudina et al. (2014), avaliando compostos fenólicos em pereiras com quatro anos de idade, encontraram teores mais elevados abaixo do ponto da enxertia nas combinações incompatíveis, além de relatarem uma menor circulação desses compostos no ponto da enxertia nessas combinações.

Gulen et al. (2002), avaliando peroxidases em pereiras de três anos e meio enxertadas em marmeleiros *Cydonia oblonga*, encontraram diversas formas desta enzima. Entretanto, uma peroxidase específica foi encontrada unicamente nas combinações compatíveis.

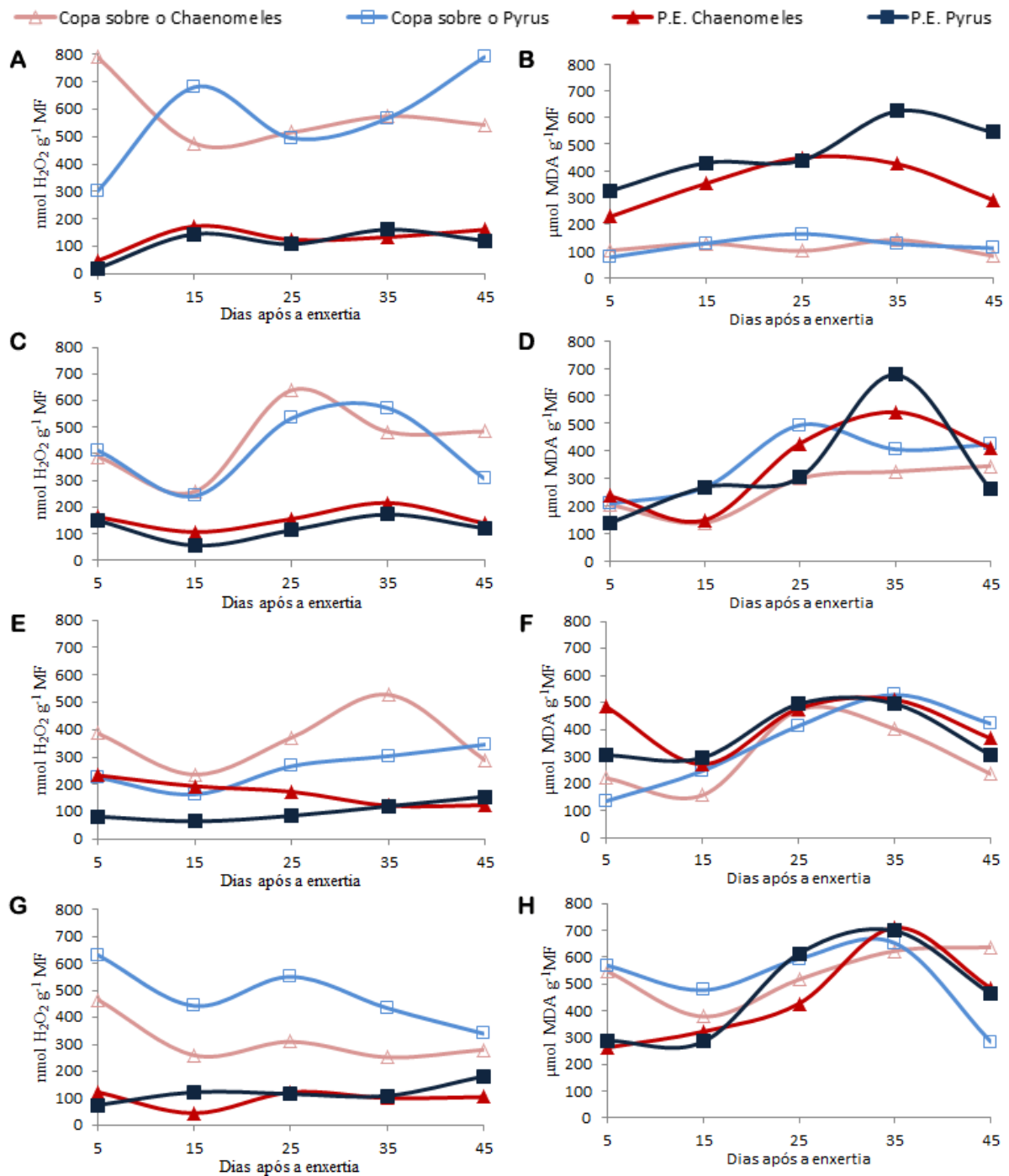
Nas Figuras 2 e 3 observa-se a evolução dos teores de peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica ao longo do tempo pós-enxertia. Nas Figuras 2A, 2C, 2E, 2G, 3A, 3C, 3E e 3G, que os teores de peróxido de hidrogênio são superiores nas copas em relação aos porta-enxertos.

Figura 2 - Teores médios de peróxido de hidrogênio na casca do porta-enxerto e enxerto na região da enxertia, das cultivares de pereira (A) Packham's Triumph, (C) William's, (E) Triunfo e (G) Primorosa, enxertadas nos porta-enxertos *Pyrus calleryana* e *Chaenomeles sinensis* aos 5, 15, 25, 35 e 45 dias pós a enxertia (DPE). Peroxidação lipídica na casca do porta-enxerto e copa na região da enxertia, das cultivares de pereira, (B) Packham's Triumph, (D) William's, (F) Triunfo e (H) Primorosa enxertadas nos porta-enxertos *Pyrus calleryana* e *Chaenomeles sinensis* aos 5, 15, 25, 35 e 45 dias pós a enxertia (DPE).



Fonte: Do autor (2019).

Figura 3 - Teores médios de peróxido de hidrogênio na casca do porta-enxerto e copa na região da enxertia, da cultivar de pereira, (A) Shenseri, da cultivar de marmeleiro (C) Mendoza Inta 37, da espécie (E) *Pyrus calleryana* e da espécie (G) *Chaenomeles sinensis* enxertadas nos porta-enxertos *Pyrus calleryana* e *Chaenomeles sinensis* aos 5, 15, 25, 35 e 45 dias pós a enxertia (DPE). E peroxidação lipídica na casca do porta-enxerto e copa na região da enxertia, da cultivar de pereira, (B) Shenseri, da cultivar de marmeleiro (D) Mendoza Inta 37, da espécie (F) *Pyrus calleryana* e da espécie (H) *Chaenomeles sinensis* enxertadas nos porta-enxertos *Pyrus calleryana* e *Chaenomeles sinensis* aos 5, 15, 25, 35 e 45 dias pós a enxertia (DPE).



Fonte: Do autor (2019).

No entanto, o peróxido de hidrogênio tem dupla ação, em altas concentrações causa danos oxidativos às células, porém, em concentrações baixas, atua como sinalizador. Sendo assim, estes teores podem estar atuando apenas como sinalizadores e não como geradores de danos oxidativos, o que pode ser inferido devido haver um maior teor de peróxido de hidrogênio na copa, e a peroxidação lipídica ter sido similar (FIGURAS 2A e 3D, 3F, 3H) ou inferior (FIGURAS 2D, 2F, 2H e 3A) comparada ao teor da porção referente ao porta-enxerto.

A indução ou silenciamento gênico podem estar envolvidas no metabolismo antioxidante. Para Gupta et al. (1993) e Lee et al. (2007), a indução das enzimas combinadas induz a expressão de vários genes antioxidantes proporcionando uma melhor tolerância ao estresse. Segundo Melnyk et al. (2011), siRNAs móveis do porta-enxerto foram indicados para induzir o silenciamento de genes pós-transcrição endógeno e os RNAs de 24 nucleotídeos do enxerto, também foram encontrados para direcionar o silenciamento de genes transcricionais nas células do porta-enxerto. Dunoyer et al. (2010) encontraram evidências de que os siRNAs funcionam como sinais de silenciamento móvel entre as células

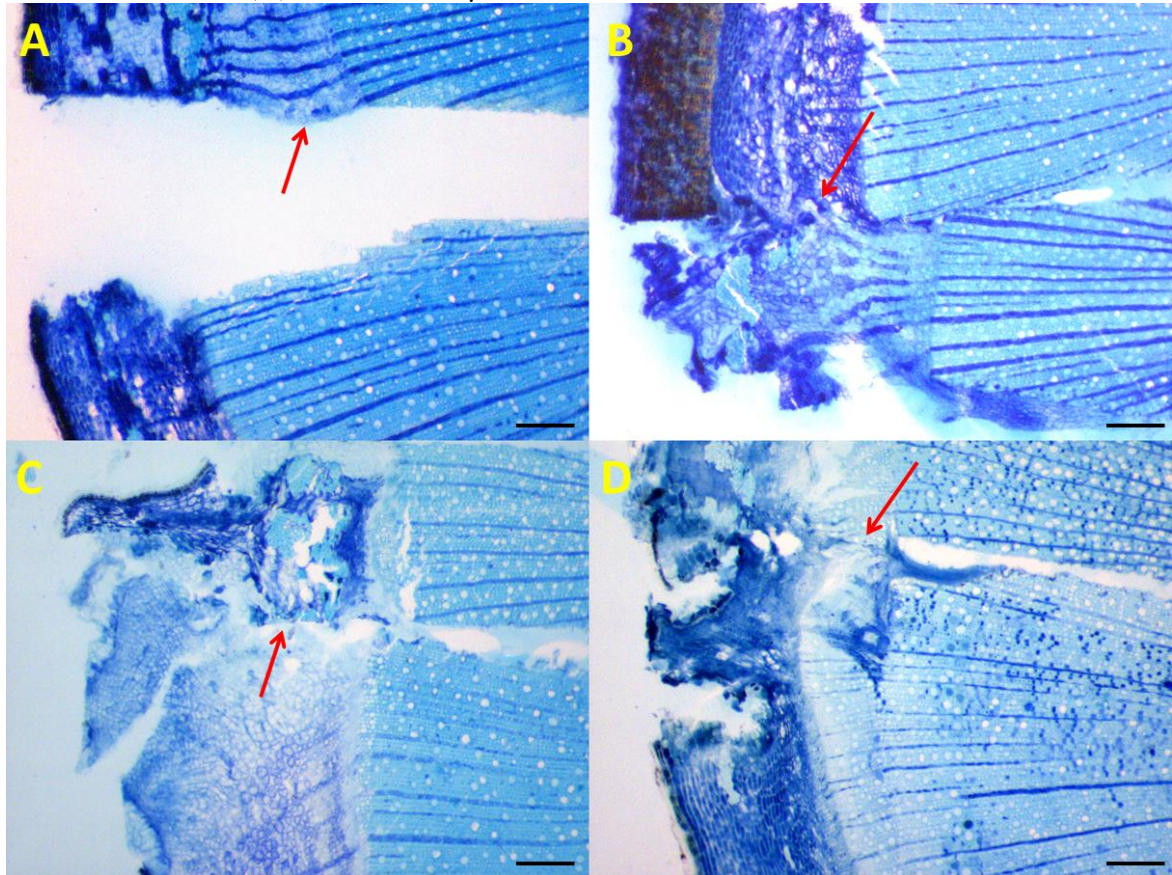
Nas avaliações anatômicas, observa-se início da proliferação de células aos 5 dias após a enxertia da cultivar Packham's Triumph sobre o *Chaenomeles sinensis* (FIGURAS 4A). Também é possível observar enxerto e porta-enxerto já ligados na combinação Primorosa sobre *Pyrus calleryana* aos 25 dias após a enxertia (FIGURA 4B).

Na Figura 4C temos *Chaenomeles sinensis* sobre *Pyrus calleryana* aos 45 dias após a enxertia, uma combinação onde houve baixo pegamento do enxerto e pouco desenvolvimento da brotação, a seta mostra a região de reconexão com uma camada necrótica e na Figura 4D *Pyrus calleryana* sobre *Pyrus caleryana* aos 45 dias após a enxertia, autoenxertia com excelente desenvolvimento da brotação, a seta mostra região de conexão com crescimento do material unido após a enxertia.

Ermel et al. (1997) também encontraram variações ao avaliar enxertias compatíveis e incompatíveis aos 10, 20 e 30 dias após a enxertia. Estes mesmo autores indicam que a causa desta variação é a posição entre enxerto e porta-enxerto que nunca é exatamente igual em todas as plantas no processo da enxertia.

Ermel et al. (1999) avaliando tais combinações, aos cinco meses, observaram que a necrose associada a incompatibilidade localizada só ocorreu no final do processo de cicatrização da enxertia, e que a camada necrótica que aparece no início, em ambas as combinações, é apenas a cicatrização do corte da enxertia.

Figura 4 - Seções transversais na região da enxertia. Packham's Triumph sobre *Chaenomeles sinensis* aos 5 dias após a enxertia (A). Primorosa sobre *Pyrus calleryana* aos 25 dias após a enxertia (B). *Chaenomeles sinensis* sobre *Pyrus calleryana* aos 45 dias após a enxertia (C). *Pyrus calleryana* sobre *Pyrus calleryana* aos 45 dias após a enxertia (D). Barra = 200 μ m.



Fonte: Do autor (2019).

Balbi et al. (2019) concluíram que o floema e o córtex são responsáveis por mais de 90% dos tecidos de regeneração na enxertia, independente da combinação. Este fato, pode ser observado na Figura 4A, onde a formação do calo iniciou a partir do floema, e na Figura 4B onde o floema de enxerto e porta-enxerto já se conectaram.

O alinhamento dos tecidos é necessário para que as células se mantenham em contato para uma posterior transferência simplástica de água e nutrientes. Assim, quanto mais alinhados estejam os materiais durante o processo de enxertia, maior será a chance de sucesso desta técnica. Com isso, os tecidos responsáveis pela regeneração celular apresentarão maior chance de estarem pareados, facilitando a comunicação entre porta-enxerto e enxerto. Não havendo este alinhamento, há uma chance de o tecido, o qual possui alta capacidade de se rediferenciar, esteja em contato com algum outro que não possua a mesma capacidade, dificultando a comunicação (BALBI et al., 2019).

No caso de enxertia em *Prunus* verificou-se proliferação de uma massa de calos tanto para enxertos compatíveis como para incompatíveis, uma semana após a enxertia, sendo que as primeiras duas semanas são consideradas como um importante período para o sucesso da técnica. Geralmente, uma massa amorfa e não diferenciada composta por células de parênquima, com paredes celulares bem finas, irão contribuir para uma maior proliferação de calos entre porta-enxerto e enxerto (PINA et al., 2012).

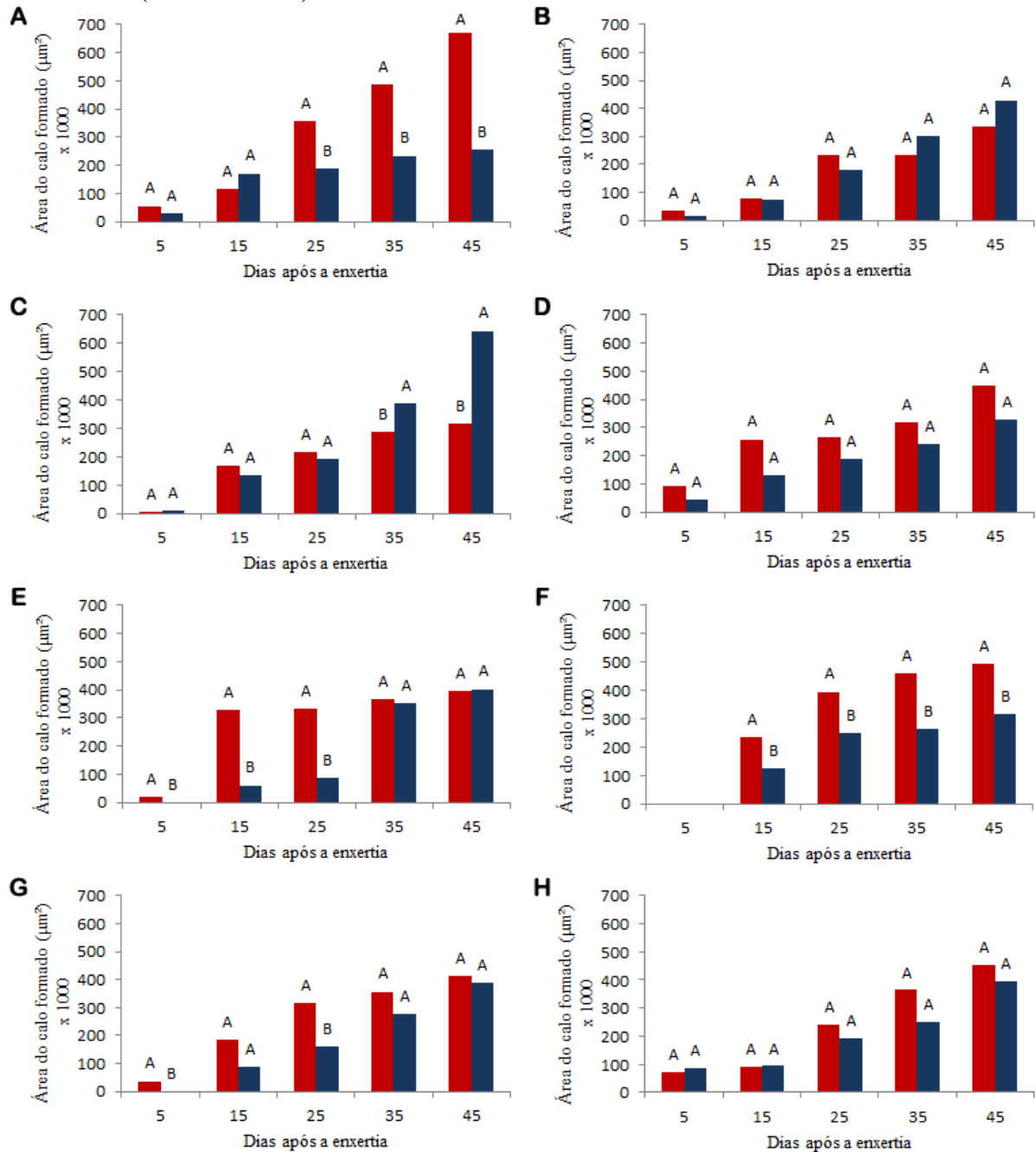
Espen, Cocucci e Saccchi (2005), avaliando microenxertia de duas combinações de pera (*Pyrus communis*) e marmelo (*Cydonia oblonga*) além da auto enxertia, observaram muitos elementos de vaso do floema já diferenciados aos 20 dias pós-enxertia e do xilema aos 30 dias pós-enxertia na combinação compatível e na auto enxertia, o que não ocorreu na combinação incompatível, onde pouquíssimos vasos eram visíveis aos 30 dias. Estes autores acreditam que na combinação incompatível sejam produzidos compostos químicos que afetam negativamente a enxertia.

Para Zarrouk et al. (2010), avaliando enxertias de pessegueiros com ameixeira em mudas com cinco meses de enxertia, relataram que os principais sintomas de incompatibilidade foram desorganização das células do câmbio, menor diferenciação dos tecidos vasculares, degeneração das células do floema e xilema e acúmulo de fenóis na interface do enxerto.

Os dados referente a área do calo formado estão apresentados na Figura 5. Observa-se que, para o enxerto do marmeleiro Mendoza Inta 37, (FIGURA 5F), só foi possível mensurá-los a partir da segunda coleta, que ocorreu aos 15 dias pós-enxertia. Enquanto que para os enxertos de Packham's Triumph, William's, Triunfo, Primorora e *C. sinensis* (FIGURAS 5A, 5B, 5C, 5D e 5H) houve formação de calos já a partir de cinco dias após a enxertia.

Outro fator que está ligado a reconexão dos tecidos vasculares são os hormônios vegetais. A acumulação de auxina pode promover a diferenciação de células de calo em xilema e floema (Wetmore; Rier, 1963). Em *Arabidopsis*, o transporte de auxina desempenha um papel fundamental na promoção da cicatrização de feridas e formação e desenvolvimento vascular (WANG et al., 2017). A citocinina é outro hormônio regulador crítico envolvido na enxertia devido à importância de divisão e diferenciação na regeneração (WANG et al., 2017).

Figura 5 - Área de calo formado na região da enxertia ao longo do tempo após a enxertia, das copas Packham's Triumph (A), William's (B), Triunfo (C), Primorosa (D), Shenseri (E), Mendoza Inta 37 (F), *Pyrus caleryana* (G) e *Chaenomeles sinensis* (H) em μm^2 , nos porta enxertos *Pyrus caleryana* (AZUL) e *Chaenomeles sinensis* (VERMELHO).



Fonte: Do autor (2019).

Para os enxertos de Shenseri e *P. caleryana* (FIGURAS 5E e 5G) houve formação de calos a partir de cinco dias sobre o porta-enxerto *C. sinensis*, e sobre o porta-enxerto *P. caleryana* foi possível mensurá-los apenas na segunda avaliação aos 15 dias após a enxertia.

Entretanto, este é um parâmetro altamente variável, pois o calo é formado até preencher todo o espaço vazio entre enxerto e porta-enxerto, ainda utilizando a mesma técnica de enxertia. Segundo Ermell et al. (1997) e Balbi et al. (2019), quanto mais alinhados estejam os materiais durante o processo de enxertia, maior será a chance de sucesso desta técnica.

Analisando-se cada enxerto em ambos os porta-enxertos, observa-se que na cultivar Packham's Triumph, que aos cinco e 15 dias pós-enxertia, não houve diferença entre os porta-enxerto (FIGURA 5A). A partir de 25 dias pós-enxertia, a área do calo foi superior sobre o porta-enxerto *C. sinensis* com 669.423.000 μm^2 , aos 45 dias pós-enxertia, contra 257.289.000 μm^2 sobre o *P. calleryana*. Para Chen et al. (2017), quando a combinação é incompatível, caso da Packham's Triumph sobre o *C. sinensis*, a massa continua se multiplicando sem haver a diferenciação em novos tecidos vasculares. No entanto para o enxerto de Triunfo (FIGURA 5C), também incompatível com o *C. sinensis*, ocorreu o inverso, até a avaliação de 25 dias pós-enxertia não houve diferença significativa, porém, nas avaliações de 35 e 45 dias após a enxertia houve maior formação de calo sobre o porta-enxerto *P. calleryana*.

Para os enxertos de William's, Primorosa e *C. sinensis* (FIGURAS 5B, 5D e 5H) não houve diferenças significativas. Enquanto que para os enxertos de Shenseri e *P. calleryana* (FIGURAS 15E e 15G) a área do calo formado nas avaliações 5, 15 e 25 dias após a enxertia foi maior quando enxertados sobre o porta-enxerto *C. sinensis* e nas avaliações de 35 e 45 dias, após a enxertia, não houve diferença significativa. Já para o enxerto de Mendoza Inta 37 (FIGURA 5F), foi possível mensurar a área apenas a partir de 15 dias pós-enxertia, apresentou maior área de calo sobre o *C. sinensis* em todas as avaliações.

Ermel et al. (1997) citam que o alinhamento dos materiais envolvidos na enxertia é extremamente difícil, mesmo consistindo do mesmo tratamento. Balbi et al. (2019), ao avaliarem a reconexão na enxertia dos mesmos porta-enxertos com inter-enxertos de *Cydonia oblonga*, encontraram que a regeneração do calo foi similar em ambos os porta-enxertos.

A formação de calos tem um papel determinante na aderência do enxerto e na nutrição inicial. A morte de células externas ao calo resulta na formação de tecido cicatricial que favorece o isolamento da região do enxerto, provavelmente diminuindo as perdas de água pelos tecidos da região conectiva (RIBEIRO et al., 2015). A formação contínua e regular de massas dos calos é imprescindível, pois dará base e suporte para o desenvolvimento da muda (BALBI et al., 2019). Sendo assim, quanto maior a proliferação de calos e quanto mais próximos à região de enxertia essa formação acontece, maior será a chance de que seja mantida a ação metabólica das células próximas à região de enxertia. Apesar de a

diferenciação do câmbio ocorrer em combinações incompatíveis, a mesma não ocorre na mesma extensão que em enxertos compatíveis, onde parte do calo permanece indiferenciado e se torna tecido parenquimatoso (ERREA et al., 1994).

Enxertos intergenéricos desencadeiam a expressão diferencial de numerosos genes na interface do enxerto durante o primeiro mês após o enxerto. Este fato começa com a regulação positiva das respostas ao estresse oxidativo e proteínas, e é seguido pela regulação positiva de muitos outros genes envolvidos nas respostas ao estresse das plantas. Esses achados sugerem que as células na interface do enxerto são capazes de detectar a presença do enxerto incompatível, o que pode induzir uma resposta do tipo imunológico (COOKSON et al., 2014).

Chen et al. (2016), avaliando mudas de *Lichia* em 13 porta-enxertos, observaram que os que haviam tido melhor pegamento apresentaram melhor conexão vascular, além de uma maior taxa fotossintética, enquanto que nas demais as conexões eram falhas e havia uma grande área necrosada.

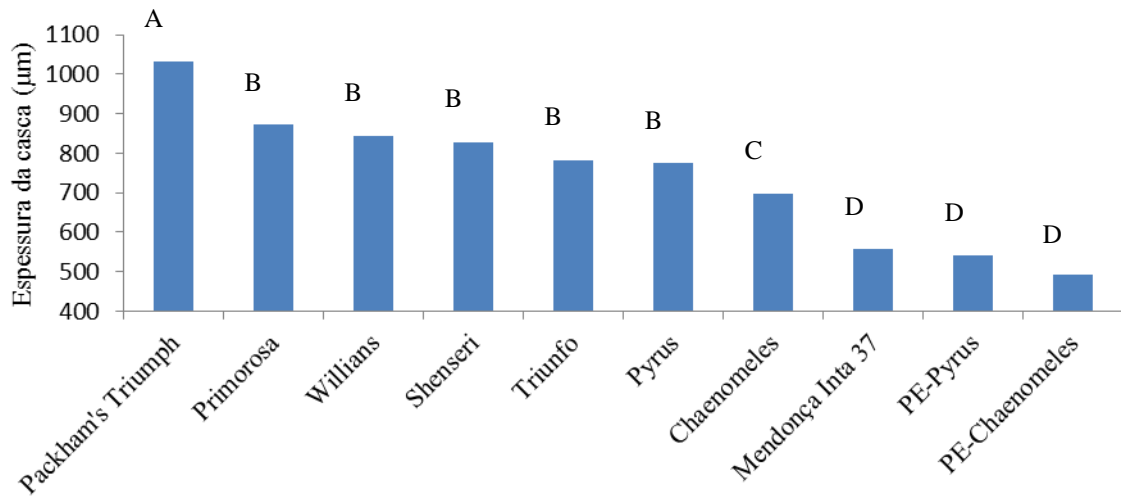
Chen et al. (2017), selecionaram duas combinações de enxertia de lichias contrastantes, e avaliando a expressão gênica, encontraram que na combinação compatível os genes responsáveis pela produção de auxina e pela lignina eram ativados poucas horas após a enxertia, enquanto que nas combinações incompatíveis, eram silenciados. No entanto, o que leva a esse ativamento ou silenciamento gênico continua sem respostas.

A redução no crescimento da parte aérea está associada a desequilíbrios hormonais entre o ácido abscísico (ABA) e a giberelina (GA) no enxerto causado pelo porta-enxerto (GAION et al., 2017). Além disso, resultados obtidos em mudas enxertadas de videiras, mais de 3000 mRNAs foram identificados como sendo transportados direcionalmente ou bi-direcionalmente entre o porta-enxerto e o enxerto (YANG et al., 2015).

Para Chen et al. (2017) os genes relacionados à resposta ao corte da enxertia foram imediatamente ativados após o enxerto e as vias de transdução de auxina foram induzidas, e, posteriormente, os genes que regularam a biossíntese de lignina, e promoveram a reconexão vascular entre o enxerto e o porta-enxertos foram ativados.

A cultivar Packham's Triumph (FIGURA 6) se destacou por possuir a maior espessura de casca com 1.032,25 μm . Em seguida, aparecem as pereiras Primorosa (871,25 μm), William's (844,22 μm), Shenseri (828,88 μm), Triunfo (783,35 μm) e o *P. calleryana* (775,14 μm) que não diferiram entre si.

Figura 6 - Espessura da casca em (μm) das copas Packham's Triumph, William's, Triunfo, Primorosa, Shenseri, Mendoza Inta 37, *Pyrus caleryana* e *Chaenomeles sinensis* e dos porta enxertos *Pyrus caleryana* e *Chaenomeles sinensis*.



Fonte: Do autor (2019).

Resultados similares foram encontrados por Balbi et al. (2019) que também observaram maior área da casca para pereiras em relação aos marmeleiros e atribuíram essa maior área à melhor eficiência na enxertia. Entretanto, isso não foi observado no presente trabalho, pois o enxerto de Mendoza Inta 37, que possui a menor espessura da casca, obteve altas taxas de brotação (90,0 %) e (100,0 %), comprimento (47,4 cm) e (53,6cm) e diâmetro (4,1 mm) e (4,9 mm) (TABELA1), sobre *P. calleryana* e *C. sinensis* respectivamente. A enxertia é um processo delicado e influenciado por inúmeros fatores endógenos e ambientais, envolvendo grandes alterações fisiológicas para que ocorra a diferenciação celular e a regeneração de órgãos, e até mesmo material genético pode ser trocado entre enxerto e porta-enxerto (CHEN et al., 2017).

Na Tabela 3, observa-se as correlações entre as variáveis relacionadas ao porta-enxerto *Chaenomeles sinensis*. O comprimento das brotações se destacou por apresentar correlações significativas com as variáveis diâmetro da brotação (0,93) e peroxidação lipídica na copa (0,88), que por sua vez, foi correlacionada com o diâmetro das brotações (0,77).

Tabela 3 - Coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis Brotação (%), Comprimento da brotação (cm), Diâmetro da brotação (mm), Peróxido de hidrogênio do porta-enxerto (nM/G⁻¹ MF), Peróxido de hidrogênio da copa (nM/G⁻¹ MF), Peroxidação lipídica do porta-enxerto (nM/G⁻¹ MF), Peroxidação lipídica da copa (nM/G⁻¹ MF), Área do calo formado e Espessura da casca (μm²) para o porta-enxerto *Chaenomeles sinensis*.

Variáveis	Brotação (%)	Comprimento (cm)	Diâmetro (mm)	Peróxido de hidrogênio P.E (nM/G ⁻¹ MF)	Peróxido de hidrogênio copa (nM/G ⁻¹ MF)	Peroxidação lipídica P.E (uM DA/G ⁻¹ MF)	Peroxidação lipídica copa (uM DA/G ⁻¹ MF)	Área do calo (μm ²)
Comprimento (cm)	0.62 ^{ns}							
Diâmetro (mm)	0.55 ^{ns}	0.93**						
Peróxido de hidrogênio P.E.	-0.18 ^{ns}	-0.05 ^{ns}	-0.11 ^{ns}					
Peróxido de hidrogênio copa	-0.27 ^{ns}	0.25 ^{ns}	-0.36 ^{ns}	0.44 ^{ns}				
Peroxidação lipídica P.E.	0.35 ^{ns}	-0.05 ^{ns}	-0.26 ^{ns}	-0.08 ^{ns}	-0.07 ^{ns}			
Peroxidação lipídica copa	0.56 ^{ns}	0.88**	0.77**	-0.21 ^{ns}	-0.53 ^{ns}	0.20 ^{ns}		
Área do calo (μm ²)	-0.29 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.18 ^{ns}	0.07 ^{ns}	-0.72 ^{ns}	-0.20 ^{ns}	
Espessura da casca (μm)	-0.63 ^{ns}	-0.71 ^{ns}	-0.66 ^{ns}	-0.17 ^{ns}	-0.25 ^{ns}	-0.16 ^{ns}	-0.46 ^{ns}	0.24 ^{ns}

(**) e (*) significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste t, respectivamente. (^{ns}) não significativo.

Fonte: Do autor (2019).

A correlação entre comprimento e diâmetro da brotação, já era esperada, visto que quando o broto se desenvolve em comprimento também irá se desenvolver em diâmetro. No entanto, a correlação entre peroxidação lipídica com comprimento e diâmetro da brotação (Tabela 3) era esperada, pois, os danos causados nas células pelo processo de enxertia, consequentemente, afeta o crescimento e desenvolvimento da planta (RIVERO et al., 2003).

Na Tabela 4, observa-se as correlações entre as variáveis relacionadas ao porta-enxerto *Pyrus calleryana*, onde a única correlação significativa, foi negativa, entre peroxidação lipídica e o diâmetro da brotação. Este fato foi o inverso do ocorrido com o porta-enxerto *C. sinensis*, pois a correlação também foi significativa, porém positiva. Este resultado está dentro do esperado, visto que com uma maior peroxidação lipídica espera-se que o desenvolvimento da brotação seja prejudicado. Com relação às demais variáveis nota-se que não houve correlação significativa. O que comprova que inúmeros fatores estão envolvidos no processo de compatibilidade, sendo extremamente difícil isolar um ou outro fator que seja responsável pela incompatibilidade de uma determinada combinação.

Tabela 4 - Coeficiente de correlação de Pearson, entre as variáveis Brotação (%), Comprimento da brotação (cm), Diâmetro da brotação (mm), Peróxido de hidrogênio do porta-enxerto (nM/G⁻¹ MF), Peróxido de hidrogênio da copa (nM/G⁻¹ MF), Peroxidação lipídica do porta-enxerto (nM/G⁻¹ MF), Peroxidação lipídica da copa (nM/G⁻¹ MF), Área do calo formado e Espessura da casca (µm²) para o porta-enxerto *Pyrus caleryana*.

Variáveis	Brotação (%)	Comprimento (cm)	Diâmetro (mm)	Peróxido de hidrogênio P.E ((nM/G ⁻¹ MF)	Peróxido de hidrogênio copa (nM/G ⁻¹ MF)	Peroxidação lipídica P.E (uM DA/G ⁻¹ MF)	Peroxidação lipídica copa (uM DA/G ⁻¹ MF)	Área do calo (µm ²)
Comprimento (cm)	0.38 ^{ns}							
Diâmetro (mm)	0.55 ^{ns}	0.45 ^{ns}						
Peróxido de hidrogênio P.E.	-0.50 ^{ns}	0.39 ^{ns}	-0.17 ^{ns}					
Peróxido de hidrogênio copa	-0.25 ^{ns}	-0.002 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.30 ^{ns}				
Peroxidação lipídica P.E.	-0.27 ^{ns}	-0.61 ^{ns}	-0.17 ^{ns}	-0.58 ^{ns}	0.16 ^{ns}			
Peroxidação lipídica copa	-0.62 ^{ns}	-0.06 ^{ns}	-0.83*	0.51 ^{ns}	-0.27 ^{ns}	-0.13 ^{ns}		
Área do calo (µm ²)	0.38 ^{ns}	0.15 ^{ns}	0.35 ^{ns}	-0.42 ^{ns}	0.21 ^{ns}	0.41 ^{ns}	-0.54 ^{ns}	
Espessura da casca (µm)	0.32 ^{ns}	-0.36 ^{ns}	0.30 ^{ns}	-0.47 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.17 ^{ns}	-0.62 ^{ns}	0.53 ^{ns}

(**) e (*) significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste t, respectivamente. (^{ns}) não significativo.

Fonte: Do autor (2019).

As estimativas de correlações permitem predizer o desempenho de uma característica quando se realiza a seleção em outra correlacionada. Para explicar as relações entre os caracteres de importância para a compatibilidade através da enxertia, as estimativas de correlações devem ser consideradas satisfatórias (GRECO et al., 2014).

Diversos autores (YIN et al., 2012; FUENTES et al., 2014; CHEN et al., 2017; FENG et al., 2017; GAION et al., 2017; WANG et al., 2017) relatam a ativação ou silenciamento gênico no processo de incompatibilidade, entretanto, o que leva a essa expressão gênica continua sem resposta.

6 CONCLUSÕES

O porta-enxerto *Chaenomeles sinensis* proporciona maior crescimento às mudas de marmeleiro *Cydonia oblonga* e *Chaenomeles sinensis*. Por outro lado, o porta-enxerto *Pyrus calleryana* proporciona maior crescimento às mudas de pereira híbridas (*Pyrus communis* x *Pyrus pirifolia*), *Pyrus calleryana*, e ao marmeleiro *Cydonia oblonga*.

A concentração de peróxido de hidrogênio são superiores nas copas comparados aos porta-enxertos.

A peroxidação lipídica é superior nos porta-enxerto em relação às copas.

A concentração de Peróxido de Hidrogênio e a concentração de Malondialdeído são similares nas combinações compatíveis e incompatíveis.

A formação de calos não é determinante na compatibilidade de enxertia.

REFERÊNCIAS

- ALMANSA, M.S. et al. Effect of salt stress on the superoxide dismutase activity in leaves of *Citrus limonum* indifferent rootstock-scion combinations. **Biologia Plantarum**, Czech Republic, v. 45, n. 4, p. 545-549, 2002.
- ALONI, B. et al. Hormonal signaling in rootstock–scion interactions. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 127, p. 119–26, 2010.
- ALONI, B. et al. Physiological and biochemical changes at the rootstock-scion interface in graft combinations between *Cucurbita* rootstocks and a melon scion. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, Amsterdam, v. 83, n. 6, p. 777–783, 2008.
- ALVARENGA, A.A. et al. Comparação entre doces produzidos à partir de frutos de diferentes espécies e cultivares de marmeleiro (*Cydonia oblonga* Miller e *Chaenomeles sinensis* Koehne). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 302-307, 2008.
- ASAHINA, M. et al. Spatially selective hormonal control of RAP2. 6L and ANAC071 transcription factors involved in tissue reunion in Arabidopsis. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 108, n. 38, p. 16128–16132, 2011.
- ASSUNÇÃO, M. et al. Graft compatibility of *Vitis* spp.: The role of phenolic acids and flavanols. **Scientia Horticulturae**, Amsterdã, v. 207, p.140 –145, 2016.
- BALBI, R.V. et al. The cell regeneration and connection of grafting between pear and quince trees are defined by the cortex and phloem. **Scientia Horticulturae**, Amsterdã, v. 257, 2019.
- BARBOSA C.M.A. et al. Phenological evaluation for determination of pruning strategies on pear trees in the tropics. **Scientia Horticulturae**, Amsterdã, v. 240, n. 1, p. 326-332, 2019.
- BAXTER, A. et al. ROS as key players in plant stress signalling. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 65, n. 5, p. 1229–40, 2014.
- BETTIOL NETO, J.E. et al. Produção e atributos de qualidade de cultivares de marmeleiro na região leste paulista. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 3, p. 1035-1042, 2011.
- BETTIOL NETO, J.E.; PIO, R. Cultivo da pereira. In: PIO, R. **Cultivo de fruteiras de clima temperado em regiões subtropicais e tropicais**. Lavras: UFLA, 2014. Cap. 4. p. 2014.
- BETTIOL NETO, J.E. et al. Production and postharvest quality of pear tree cultivars in subtropical conditions at eastern of São Paulo state, Brazil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 10, p. 1740-1746, 2014.
- BREEN, P.J. Cyanogenic glycosides and graft incompatibility between Peach and Plum. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 99, n. 5, p. 412-415, 1974.

- BUEGE, J.A.; AUST, S.D. Microsomal lipid peroxidation. **Methods in Enzimology**, v. 52, p. 302-310, 1978.
- CHEN, Z. et al. Study on the graft compatibility between 'Jingganghongnuo' and other litchi cultivars. **Scientia Horticulturae**, v. 199, p. 56-62, 2016.
- CHEN, Z. et al. Transcriptome changes between compatible and incompatible graft combination of Litchi chinensis by digital gene expression profile. **Scientific Reports**, v. 7, n. 3954, 2017. Disponível em: < DOI:10.1038/s41598-017-04328-x> Acesso em: 22 set. 2019.
- COOKSON, S.J. et al. Heterografting with nonself rootstocks induces genes involved in stress responses at the graft interface when compared with autografted controls. **Journal of Experimental Botany**, v. 65, n. 9, p. 2473-2481, 2014.
- COUTINHO, G. et al. Multivariate analysis and selection indices to identify superior quince cultivars for cultivation in the tropics. **Hortscience**, v. 54, p. 1324-1329, 2019.
- DESIKAN, R. et al. Regulation of the *Arabidopsis* transcriptome by oxidative stress. **Plant Physiology**, v. 127, n. 1, p. 159-172, 2001.
- DUAN, X. et al. PbWoxT1 mRNA from pear (*Pyrus betulaefolia*) undergoes longdistance transport assisted by a polypyrimidine tract binding protein. **New Phytologist**, v. 210, p. 511-524, 2015.
- DUNOYER, P. et al. Small RNA duplexes function as mobile silencing signals between plant cells. **Science**, v. 328, p. 912-916, 2010.
- ENTELMANN, F. A. et al. Intergeneric quince tree by bud grafting using 'Japonês' and 'Taiwan Nashi-C' rootstock. **Acta Horticulturae**, v. 872, p. 379-382, 2010.
- ERMEL, F.F. et al. Early scion/stock junction in compatible and incompatible Pear/Pear and Pear/Quince grafts: a histo-cytological Study. **Annals of Botany**, v. 79, p. 505-515, 1997.
- ERMEL, F.F. et al. Localized graft incompatibility in pear/quince (*Pyrus communis*/*Cydonia oblonga*) combinations: multivariate analysis of histological data from 5-month-old grafts. **Tree Physiology**. v. 19, n. 10, p. 645-654, 1999.
- ERREA, P.; FELIPE, A.; HERRERO, M. Graft establishment between compatible and incompatible Prunus spp. **Journal of Experimental Botany**, v. 45, p. 393-401, 1994.
- ERREA, P. Implications of phenolic compounds in graft incompatibility in fruit tree species. **Scientia Horticulturae**, v. 74, p. 195-205, 1998.
- ESPEN L; COCUCCI M; SACCHI G.A. Differentiation and functional connection of vascularelements in compatible and incompatible pear/quince internode micrografts. **Tree Physiology**, v. 25, p.1419-25, 2005.
- FACHINELLO, J.C.; HOFFMAN, A.; NACHTIGAL, J.C. **Propagação de plantas frutíferas**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005.

FACHINELLO, J.C. et al. Situação e perspectivas da fruticultura de clima temperado no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. Especial, p. 109-120, 2011.

FAZENDA L.H.V. **Desempenho produtivo de cultivares de pereira de baixa necessidade em frio para o cultivo em regiões subtropicais**. 2019. 47 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2019.

FENG, J.L. et al. Signaling pathway in development of *Camellia oleifera* nurse seedling grafting union. **Trees**, v. 31, n. 1543, 2017.

FERNÁNDEZ-GARCÍA, N.; CARVAJAL, M.; OLMOS, E. Graft union formation in tomato plants: peroxidase and catalase involvement. **Annals of Botany**. Oxford. v. 93, p. 53–60, 2004.

FERREIRA, D.F. **Sistema de análises de variância para dados balanceados**. Lavras: UFLA, 2011.

FIORAVANÇO, J.C. A cultura da pereira no Brasil: Situação econômica e entraves para o seu crescimento. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 37, n. 3, p. 52-60, 2007.

FONTANAZZA, G.; BALDONI, L. Propagazione e miglioramento genético. In: LALATTA, F. (Ed.). **Frutticoltura generale**, Roma, REDA, 1992. p.127-280.

FOYER, C.H.; NOCTOR, G. Oxygen processing in photosynthesis: regulation and signalling. **New Phytologist**, Lancaster. v. 146, p. 359–388, 2000.

FUENTES, I. et al. R. Horizontal genome transfer as an asexual path to the formation of new species. **Nature**, v. 511, p. 232–235, 2014.

GAION, L.A. et al. Long-Distance Signaling: What grafting has revealed? **Journal Of Plant Growth Regulation**, New York, v. 37, n. 2, p. 694-704, 2018.

GARNER, R.J.; BRADLEY, S. **The Grafter's Handbook**: Revised & updated edition. Hachette: UK, 2017.

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

GOLDSCHMIDT, E.E. Plant grafting: new mechanisms, evolutionary implications. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, p. 1–9, 2014.

GRECO, S. M. L. et al. Avaliação física, físico-química e estimativas de parâmetros genéticos de 32 genótipos de maracujazeiro-azedo cultivados no Distrito Federal. **Bioscience Journal UFU**, v. 30, p. 360-370, 2014.

GUARAGNELLA, N. et al. Achievements and perspectives in yeast acetic acid induced programmed cell death pathways. **Biochemical Society Transactions**, Londres, v. 39, n. 5, p. 1538–1543, 2011.

- GULEN, H. et al. Peroxidase isozyme profiles in compatible and incompatible Pear-Quince Graft Combinations. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 127, p. 152-157, 2002.
- GUPTA, A.S. et al. Overexpression of superoxide dismutase protects plants from oxidative stress. **Plant Physiology**, v. 103, p. 1067–1073, 1993.
- HARTMANN, H.T. et al. **Plant propagation: principles and practices**. New Jersey: Prentice Hall, 2010. p. 915.
- HUDINA, M. et al. The phenolic content and its involvement in the graft incompatibility process of various pear rootstocks (*Pyrus communis* L.). **Journal of Plant Physiology**. v. 171, p. 76–84, 2014.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal - PAM**. 2018. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>> Acesso em: 08 maio. 2019.
- IRISARRI, P. et al. Oxidative stress associated with rootstock–scion interactions in pear/quince combinations during early stages of graft development. **Journal of Plant Physiology**, v. 176, p. 25–35, 2015.
- JANICK, J. **A ciência da horticultura**. Rio de Janeiro: USAID, 1966.
- JEFREE, C.E.; YEOMAN, M.M. Development of intercellular connections between opposing cell in graft union. **New phytologist**, Lancaster, v. 93, p. 491-509, 1983.
- KOHATSU, D.S. et al. Peroxidase and polyphenol oxidase activity on the yield of grafted and ungrafted cucumber plants. **African Journal of Agricultural Research**, v. 8, n 3, p. 279-283, 2013.
- KRAUS, J.E.; ARDUIN, M. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Seropédia: Edeir, 1997. 198 p.
- LEE, S. H. et al. Simultaneous overexpression of both Cu/Zn superoxide dismutase and ascorbate peroxidase in transgenic tall fescue plants confers increased tolerance to a widerange of abiotic stresses. **Journal of Plant Physiology**, v. 164, p. 1626–38, 2007.
- LORENZI, H. **Botânica sistemática: Guia ilustrado para identificação de família de fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG III**. 2. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008, 704 p.
- MASSERON, A.L. **Porte-greffepommier, poirieretnashi**. Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes, Paris, p. 297, 1989.
- MAYER, N.A.; PEREIRA, F.M. Vigor de clones de umezeiro e pessegueiro 'Okinawa' propagados por estacas herbáceas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília. v. 41, p. 883-887, 2006.

- MELNYK, C.W. et al. Mobile 24 nt small RNAs direct transcriptional gene silencing in the root meristems of *Arabidopsis thaliana*. **Current Biology**, Cambridge, v. 21, p. 1678–1683, 2011.
- MELNYK, C.W. et al. A developmental framework for graft formation and vascular reconnection in *Arabidopsis thaliana*. **Current Biology**, Cambridge, v. 25, p. 1306–1318, 2015.
- MELO, E.T. et al. Anatomic compatibility of pear and quince trees grafted on *Pyrus calleryana* and *Chaenomeles sinensis* rootstocks. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 52, n. 10, p. 877-886, 2017.
- MITTLER, S. et al. Reactive oxygen gene network of plants. **Trends in Plant Science**, v. 9, p. 490-498, 2004.
- MOORE, R. Graft incompatibility between pear and quince: the influence of metabolites of *Cidonia oblonga* on suspension cultures of a *Pyrus communis*. **American Journal of Botany**, Columbus, v. 73, n. 1, p. 1-4, 1986.
- MUNIZ, J.N.; KRETZCHMAR, A.A.; HIPÓLITO, J.S. **A cultura da Pereira**. Florianópolis: Degrau Cultura, 2012. Cap. 2. p. 30-37.
- MURATA, I.M. et al. Enraizamento de estacas lenhosas de porta-enxertos de pereira sob nebulização intermitente. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 583-585, 2002.
- NOCITO, F.F. et al. Oxidative stress and senescence-like status of pear calli co-cultured on suspensions of incompatible quince microcalli. **Tree Physiology**, v. 30, p. 450–458, 2010.
- NOTAGUCHI, M. Identification of phloem-mobile mRNA. **Journal of Plant Research**, v. 128, p. 27–35. 2015.
- PAULTRE, D.S.G. et al. Lost in transit: longdistance trafficking and phloem unloading of protein signals in *Arabidopsis* homografts. **The Plant Cell**, v. 28, p. 2016–2025, 2016.
- PEREIRA, I.S. et al. Genotypic differences in cyanogenic glycosides levels of compatible *Prunus persica* *P. persica* and incompatible *P. persica* *P. mume* combinations **Bragantia**, Campinas, v. 77, n.1, 2018.
- PETINELI, R. **Pereiras europeias enxertadas sobre porta-enxerto de marmeleiro: vigor, produção e incompatibilidade de enxertia**. 2014. 81 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2014.
- PINA, A.; ERREA, P. A review of new advances in mechanism of graft compatibility–incompatibility. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 106, n. 1, p. 1–11, Aug. 2005.
- PINA, A.; ERREA, P.; MARTENS, H.J. Graft union formation and cell-to-cell communication via plasmodesmata in compatible and incompatible stem unions of *Prunus* spp. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 143, p.144-150, 2012.

PIO, R. et al. Advances in the production of temperate fruits in the tropics. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 41, p. e39549, 2019.

PIO, R. et al. Teste de porta-enxertos intergenéricos para marmeleiros em condições de viveiro. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 2, p. 521-526, 2009.

PIO, R. et al. Intergeneric grafting of pear cultivars in the 'Japonês' quince tree. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 800, p. 707-712, 2008.

PIO, R. et al. Propagação do marmeleiro 'Japonês' por estaquia e alporquia realizadas em diferentes épocas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 2, p. 570-574, 2007.

PIO, R. et al. Marmeleiro 'Japonês': nova opção de porta-enxerto para marmelos. **O Agrônomo**, Campinas, v. 57, p. 15-16, 2005.

QUAN, B. et al. Hydrogen peroxide in plants: a versatile molecule of the reactive oxygen species network, **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 50, 2008.

QUEZADA, A.C.; NAKASU, B.H. Classificação botânica, origem e evolução. In: QUEZADA, A.C. et al. **Pêra Produção**, v. 1, p. 20-21. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília, 2003.

RIBEIRO, L.M. et al. Histological study of micrografting in passionfruit. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 123, p. 173-181, 2015.

RIVERO, R.M. et al. Does grafting provide tomato plants an advantage against H₂O₂ production under conditions of thermal shock? **Plant Physiology**, 117, 44-50 2003.

RODRIGUES, J.C. et al. Peroxidases activity and total phenols in the tissue rootstock of *Prunus* sp. in the vegetative development and rest periods. **Ciência Rural**, v. 32, n. 4, p. 559-564, 2002.

SANTAMOUR JR., F.S. Graft compatibility in woody plants: A expanded perspective. **Journal of Environmental Horticulture**, Washington, v. 6, p. 27-32, 1988.

SCANDALIOS, J.G. Oxygen stress and superoxide dismutase. **Plant Physiology**, Rockville, v. 101, n. 1, p. 7-12, jan. 1993.

SCHUZ, A. Physiological control of plasmodesmal gating. In: VAN BEL, A.J.E.; VAN KESTEREN, W.J.P. (Eds.), **Plasmodesmata: Structure, Function, Role in Cell Communication**. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, 1999. p. 173-204.

SEIFERT, K.E. et al. Mudanças de pera produzidas por dupla enxertia em marmeleiro utilizando o porta-enxerto Japonês. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília. v. 44, p. 1631-1635, 2009.

SHARMA, P. et al. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. **Journal of Botany**, New York, v. 2012, p. 01-26, 2012.

SHEN, D.; LIN, B.; CHEN, D. Recent advances in chinese pear breeding and genetics in China. **Acta Horticulturae**, v. 364, p. 46-54, 1994.

SIMÃO, S. **Tratado de Fruticultura**. Piracicaba: FEALQ, 1998. p. 760.

STRYDOM, D. K. Portainjertos para perales. In: CURSO INTERNACIONAL DE FRUTICULTURA DE CLIMA TEMPERADO-FRIO. Mendoza. **Anais....** Mendoza/Argentina: INTA (Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária Centro Regional Cuyo). Cap. 7, p. 1-7, 1998.

TRINCHERA, A. et al. Graft union formation in artichoke grafting onto wild and cultivated cardoon: an anatomical study. **Journal Plant Physiology**, v. 170, p. 1569–78, 2013.

VALLI, R. **Arboricoltura: generale e speciale**. Ozzonede l'Emilia (Bo): Calderini edagricole, via plant vascular tissues, 6. ed. 658 p. 2002.

VELIKOVA, V.; YORDANOV, I.; EDREVA, A. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants. Protective role of exogenous polyamines. **Plant Science**, v. 151, n. 59–66, 2000.

VRSIC, S. et al. Factors influencing grafting success and compatibility of grape rootstocks. **Science Horticulturae**, v. 181, p. 168–173, 2015.

WANG, J. et al. Plant grafting: how genetic exchange promotes vascular reconnection. **New Phytologist**, v. 214, n. 1, p. 56-65, 2017.

WETMORE, R.H.; RIE, J.P. Experimental induction of vascular tissues in callus of angiosperms. **American Journal of Botany**, Columbus. v. 50, p. 418–430, 1963.

YANG, Y. et al. Reiview on Role of Grafting on Yield and Quality of Selected Fruit Vegetables. **Global Journal of Science Frontier Research: Agriculture and Veterinary**, 2015. V. 15.

YIN, H. Graft-union development: a delicate process that involves cell–cell communication between scion and stock for local auxin accumulation. **Journal of Experimental Botany**, Oxford. v. 63, p. 4219-4232, 2012.

ZARROUK, O. et al. Changes in cell/tissue organization and peroxidase activity as markers for early detection of graft incompatibility in peach/plum combinations. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 135, p. 9-17, 2010.

ZARROUK, O. et al. Graft compatibility between peach cultivars and *Prunus* rootstocks. **HortScience**, v. 41, 2006.

ZHANG, X. et al. Translational control of the cytosolic stress response by mitochondrial ribosomal protein L18. **Nature Structural & Molecular Biology**, Londres, v. 22, n. 5, p. 404–410, 2015.