

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE - UNICENTRO-PR

**Desenvolvimento de macieiras cv. Fuji Suprema
enxertadas sobre porta-enxertos da série Geneva®.**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ALLISON JOHN DE SOUSA

GUARAPUAVA-PR

2023

ALLISON JOHN DE SOUSA

**Desenvolvimento de macieiras cv. Fuji Suprema
enxertadas sobre porta-enxertos da série Geneva®.**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Renato Vasconcelos Botelho

Orientador

Prof. Dr. Leo Rufato

Co-orientador

GUARAPUAVA-PR

2023

Catálogo na Publicação
Rede de Bibliotecas da Unicentro

S725d

Sousa, Allison John de

Desenvolvimento de macieiras cv. Fuji Suprema enxertadas sobre porta-enxertos da série Geneva® / Allison John de Sousa. -- Guarapuava, 2023.

xiv, 60 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Área de Concentração: Produção Vegetal, 2023.

Orientador: Renato Vasconcelos Botelho

Coorientador: Leo Rufato

Banca examinadora: Alessandro Jefferson Sato, Karla Siebert Sapelli

Bibliografia

1. Enxertia. 2. *Malus domestica*. 3. Pomáceas. 4. Fluorescência de clorofila. I. Título. II. Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

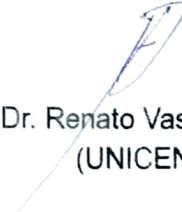
CDD 630

Allison John de Sousa


**DESENVOLVIMENTO DE MACIEIRAS CV. FUJI SUPREMA ENXERTADAS SOBRE
PORTA-ENXERTOS DA SÉRIE GENEVA®**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 15 de fevereiro de 2023.



Prof. Dr. Renato Vasconcelos Botelho
(UNICENTRO)



Prof. Dr. Alessandro Jefferson Sato
(UFPR)



Prof. Dr. Karla Siebert Sapelli
(UNICENTRO)

GUARAPUAVA-PR
2023

Família,
Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Deus pela minha vida, pela proteção e pela força nos momentos difíceis .

A minha mãe e meu Pai (*in memoriam*), por sempre acreditarem em mim e me incentivarem nos estudos.

À toda minha família.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UNICENTRO pela oportunidade e a todos os professores e seus ensinamentos ao longo desse caminho.

Ao professor Renato Vasconcelos Botelho pela orientação, ensinamentos, pela ajuda na realização desse trabalho.

Ao professor Leo Rufato pela co-orientação, por aceitar esse desafio e pelo auxílio nesse trabalho.

Aos amigos e colegas do grupo de Fruticultura Sustentável pelo auxílio na realização dos experimentos, em especial a Karla Sapelli, Carine Rusin, Maria Isabel Pelegrini, Felipe Carvalho.

À Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa.

A todos que contribuíram, de alguma maneira, para a minha formação e desenvolvimento do meu trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	iii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	2
2.1 Objetivo geral	2
2.2 Objetivos específicos	2
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
3.1 Importância econômica	3
3.2 Classificação botânica	3
3.3 Características fenológicas e reprodutivas	4
3.4 Dormência em macieiras	5
3.5 Cultivares de macieiras	7
3.6 Porta-enxerto	8
3.8 Reações bioquímicas e estresses oxidativo	13
3.9 Pigmentos fotossintéticos e fluorescência da clorofila <i>a</i>	14
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	16
4.1 Local do experimento	16
4.2 Material experimental	17
4.3 Tratos culturais	17
4.4 Delineamento experimental	18
4.5 Avaliações experimentais	18
4.5.1 Porcentagem de brotação e floração	18
4.5.2 Diâmetro de tronco	18

4.5.3 Número, diâmetro e comprimento dos ramos secundários por planta.....	19
4.5.4 Altura de planta.....	19
4.5.5 Volume de copa	19
4.5.6 Área da seção transversal do caule	19
4.5.7 Fluorescência da clorofila <i>a</i>	20
4.5.8 Análise do teor de clorofila.....	20
4.5.9 Produção, número de frutos por planta, produtividade e massa média do fruto.....	21
4.5.10 Eficiência produtiva	21
4.5.11 Avaliação da qualidade pós-colheita	21
4.5.12 Índice de área foliar	22
4.5.13 Massa fresca das plantas	22
4.5.14 Coleta e obtenção dos extratos enzimáticos.....	22
4.5.15 Proteínas totais e atividades enzimáticas	23
4.5.16 Potencial hídrico	23
4.5.17 Determinação de teores nutrientes	23
4.6 Análises estatísticas	24
5.RESULTADOS	25
5.1. Brotação	25
5.2. Floração.....	25
5.3. Desenvolvimento Vegetativo.....	26
5.3.1 Altura de planta e diâmetro do tronco	26
5.3.2 Número, comprimento e diâmetro dos ramos.....	27
5.3.3 Área da seção transversal do caule e Volume de copa	28
5.3.4 Massa fresca da parte área (MFPA), sistema radicular (MFSR) e total (MFT)	29
5.3.5 Índice da área foliar	30
5.4. Produtividade	31
5.5. PCA para características vegetativas e de produção	32
5.6. Fluorescência da clorofila <i>a</i>	33

5.7. Pigmentos fotossintéticos	35
5.8. Enzimas Antioxidantes	36
5.9. PCA para características bioquímicas	37
5.10. Qualidade pós-colheita	38
5.11. PCA para características pós colheita	40
5.12. Teores de nutrientes	41
6 DISCUSSÃO	43
6.3 Aspectos fisiológicos e produtivos	43
6.4 Qualidade pós-colheita	45
6.5 Aspectos bioquímicos	47
7 CONCLUSÕES	50
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

®	Marca registrada
°C	Grau Celsius
cm	Centímetro
m	Metro
nm	Nanómetro
>	Maior que
<	Menor que
t	Tonelada
ha	Hectare
MPa	Mega Pascal
ERO	Espécie reativa de oxigênio
mm	Milímetro
kg	Quilograma
mL	Mililitro
µg	Micrograma
MFSR	Matéria fresca do sistema radicular
MFPA	Matéria fresca da parte aérea
IAF	Índice da área foliar
cv.	Cultivar
ASTC	Área da seção transversal do caule
F ₀	Fluorescência inicial
F _m	Fluorescência máxima
F _v	Fluorescência variada
F _v /F _m	Rendimento quântico máximo do PSII
F _v /F ₀	Atividade potencial do PSII
ATP	Adenosina trifosfato

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Precipitação pluviométrica e temperaturas máximas e mínimas diárias de 2021 (A) e de janeiro a julho de 2022 (B), Guarapuava-PR, 2022.....16
- Figura 2.** Brotação em macieiras cultivar Fuji Suprema sob influência dos porta-enxerto da série Geneva®. Guarapuava, PR, 2022.....25
- Figura 3.** Porcentagem da floração em macieiras cultivar Fuji Suprema sob influência dos porta-enxerto da série Geneva®. Guarapuava, PR, 2022.....26
- Figura 4.** Incremento em altura de plantas (%) (A) e incremento em diâmetro de tronco (%) (B) de macieiras cv. Fuji Suprema sobre diferentes porta-enxertos da série Geneva. Guarapuava, PR, 2022.....26
- Figura 5.** Número de ramos por planta (A), incremento em comprimento dos ramos de plantas (B) e do diâmetro dos ramos de plantas (C) de macieira cv. Fuji Suprema sobre diferentes porta-enxertos da série Geneva. Guarapuava, PR, 2022.....27
- Figura 6.** Área da seção transversal do caule (ASTC) (A), Volume de copa (B) de macieira cv. Fuji Suprema sobre diferentes porta-enxertos da série Geneva. Guarapuava, PR, 2022....28
- Figura 7.** MFPA (g planta^{-1}) (A), MFSR (g planta^{-1}) (B) e MF total (g planta^{-1}) (C) de macieiras cv. Fuji Suprema sobre diferentes porta-enxertos da série Geneva. Guarapuava, PR, 2022.....29
- Figura 8.** IAF de plantas de macieiras cv. Fuji Suprema sobre diferentes porta-enxertos da série Geneva. Guarapuava, PR, 2022.....29
- Figura 9-** Número de frutos (A), produção de frutos em kg planta^{-1} (B), produtividade (C), Massa média por fruto (D) e eficiência produtiva (E) de macieiras cv. Fuji Suprema sobre diferentes porta-enxertos da Série Geneva®, Guarapuava– PR, 2022.....31
- Figura 10.** Análise dos componentes principais para características vegetativas e de produção de macieiras cv. Fuji Suprema sobre diferentes porta-enxertos da Série Geneva®, Guarapuava– PR, 2022.....32
- Figura 11.** Curva OJIP da fluorescência da clorofila *a* de folhas de macieiras cv. Fuji Suprema sobre diferentes porta-enxertos da série Geneva. Guarapuava, PR, 2022.....33
- Figura 12.** Parâmetros F_o (A), F_m (B), F_v (C) e F_v/F_o (D) da fluorescência da cinética rápida da clorofila *a* obtidos da curva OJIP de folhas de macieiras cv. Fuji Suprema sobre diferentes porta-enxertos da série Geneva. Guarapuava, PR, 2022.....34
- Figura 13-** Atividade da enzima peroxidase (A) e superóxido dismutase (B) de macieiras cv. Fuji Suprema sobre diferentes porta-enxertos da Série Geneva®, Guarapuava– PR, 2022.....35
- Figura 14-** Potencial hídrico foliar (MPa) de macieiras cv. Fuji Suprema sobre diferentes porta-enxertos da Série Geneva®, Guarapuava– PR, 2022.....36
- Figura 15.** Análise dos componentes principais para características bioquímicas de macieiras

cv. Fuji Suprema sobre diferentes porta-enxertos da Série Geneva®, Guarapuava– PR, 2022.....	37
Figura 16- Sólidos solúveis (°Brix) (A), relação SS/AT (B) e acidez titulável (g ácido cítrico 100 mL-1) (C) de maçãs cv. Fuji Suprema sobre diferentes porta-enxertos da Série Geneva®, Guarapuava– PR, 2022.....	38
Figura 17- Ângulo hue (A) e cromaticidade (B) de maçãs cv. Fuji Suprema sobre diferentes porta-enxertos da Série Geneva®, Guarapuava– PR, 2022.....	39
Figura 18. Análise dos componentes principais para características pós colheita dos frutos de macieiras cv. Fuji Suprema sobre diferentes porta-enxertos da Série Geneva®, Guarapuava– PR, 2022.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização química do solo da área experimental, com estratificação até 40 cm de profundidade, Guarapuava-PR, 2022.....	17
Tabela 2 - Concentração de pigmentos ($\mu\text{g mL}^{-1}$) de macieiras cv. Fuji Suprema sobre diferentes porta-enxertos.....	35
Tabela 3 - Teores de macronutrientes em folhas de macieiras cv. Fuji Suprema sobre diferentes porta-enxertos.....	40
Tabela 4 - Teores de micronutrientes em folhas de macieiras cv. Fuji Suprema sobre diferentes porta-enxertos.....	41

RESUMO

Allison John de Sousa. Desenvolvimento de macieiras cv. Fuji Suprema enxertadas sobre porta-enxertos da série Geneva®.

Um dos principais problemas para a expansão do cultivo de macieira no Brasil, é a adaptabilidade de cultivares às condições edafoclimáticas. Desta maneira, o uso de porta-enxertos pode influenciar o cultivo em diferentes regiões. Este trabalho teve como objetivo avaliar o crescimento vegetativo, a compatibilidade e a adaptabilidade de macieiras da cultivar Fuji Suprema enxertadas em diferentes porta-enxertos da série Geneva ® nas condições edafoclimáticas na região de Guarapuava-PR. O experimento foi realizado na safra 2021/2022. Durante este período foram avaliadas macieiras Fuji Suprema, enxertadas sobre quatro diferentes porta-enxertos (G.202, G.210, G.213 e G.814). As plantas foram dispostas no campo em quatro blocos ao acaso, com cinco plantas por parcela, totalizando vinte plantas por tratamento. Foi utilizado o espaçamento de 4 metros entre linhas e 1 metro entre plantas, em sistema de condução líder central em espaldeira. As análises de características agronômicas e fisiológicas (diâmetro do tronco, altura da planta, número de ramos, diâmetro e comprimento, fluorescência da clorofila a e b) foram avaliadas durante o ciclo 2021/2022. A análise de porcentagem de brotação foi realizada semanalmente após as plantas superarem a dormência com início no estágio de ponta verde. O porta-enxerto G.213 antecipou a floração das macieiras cv. Fuji Suprema, proporcionou menor vigor, bem como promoveu produtividade superior para região de estudo deste trabalho.

Palavras-Chave: Enxertia; *Malus domestica*; Pomáceas, fluorescência de clorofila.

ABSTRACT

Allison John de Sousa. Development of apple trees cv. Fuji Suprema grafted onto Geneva® series rootstocks.

One of the main problems for the expansion of apple tree cultivation in Brazil is the adaptability of cultivars to edaphoclimatic conditions. In this way, the use of rootstocks can influence the cultivation in different regions. This work aimed to evaluate the vegetative growth, compatibility and adaptability of apple trees of the Fuji Suprema cultivar grafted on different rootstocks of the Geneva® series in edaphoclimatic conditions in the region of Guarapuava-PR. The experiment was carried out in the 2021/2022 harvest. During this period, Fuji Suprema apple trees grafted on four different rootstocks (G.202, G.210, G.213 and G.814) were evaluated. The plants were arranged in the field in four randomized blocks, with five plants per plot, totaling twenty plants per treatment. A spacing of 4 meters between rows and 1 meter between plants was used, in a leading central conduction system in espaliers. Analyses of agronomic and physiological characteristics (trunk diameter, plant height, number of branches, diameter and length, chlorophyll a and b fluorescence) were evaluated during the 2021/2022 cycle. Sprouting percentage analysis was performed weekly after the plants broke dormancy starting at the green tip stage. The rootstock G.213 anticipated the flowering of apple trees cv. Fuji Suprema, provided less vigor, as well as promoted superior productivity for the study region of this work.

Keywords: Grafting; *Malus domestica*; Pomáceas; chlorophyll fluorescence.

1 INTRODUÇÃO

A macieira é uma planta frutífera de clima temperado pertencente à ordem Rosales, família *Rosaceae*, subfamília *Pomoideae*, gênero *Malus* e espécie *Malus domestica* Borkhausen. Pode adaptar-se a diferentes climas, apresenta crescimento satisfatório em diferentes regiões (PIO, 2018).

O cultivo de pomáceas pode ser encontrado em diversas regiões frutícolas, possuindo importância na produção mundial de frutíferas. Os países que se destacam como maiores produtores são China, Estados Unidos e Turquia. A área de produção de maçãs no Brasil atual é de 32.879 hectares, com produtividade média de 39.461 kg ha⁻¹, distribuídos principalmente no Sul do país. Santa Catarina e Rio Grande do Sul são os principais estados produtores, com participação de 52,6% e 44,8% respectivamente, juntos representam 97,4% da produção nacional (IBGE, 2020).

Um dos principais problema para a expansão do cultivo de macieira no Brasil, bem como de outras frutíferas de clima temperado, é a adaptabilidade de cultivares às condições edafoclimáticas. Desta maneira, o uso de porta-enxertos em plantas frutíferas possibilita o cultivo de várias espécies e cultivares em diferentes climas e localidades (PASA et al., 2011).

A produção de maçãs no Brasil está fundamentada na utilização da combinação dos porta-enxertos Marubakaido com interenxerto de M.9 (Maruba/M.9) e Marubakaido (Maruba) em regiões de altitude elevada, onde os solos tendem a serem rasos e pedregosos. Em diferentes regiões produtoras de maçã no mundo está sendo testado o desempenho de porta-enxertos desenvolvidos pela Universidade de Cornell-EUA (Geneva®). Esses porta-enxertos apresentam resistência a algumas doenças e pragas de solo e tem se apresentando características agrônômicas que são essenciais para produção no Brasil (DENARDI; KVITSCHAL, 2015).

Existe ainda certa escassez de porta-enxertos adequados para as condições edafoclimáticas da região sul do país, especialmente para o Estado do Paraná, o que pode ser considerado um dos maiores empecilhos para a expansão da cultura (FACHINELLO et al., 2011).

2OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o desempenho de macieiras da cultivar Fuji Suprema sobre diferentes porta-enxertos da série Geneva®, nas condições da região em estudo.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar características agronômicas e bioquímicas de macieiras da cultivar Fuji Suprema enxertadas sobre diferentes porta-enxertos da série Geneva®;
- Avaliar a adaptabilidade de macieiras cultivar Fuji Suprema sobre os diferentes porta-enxertos da série Geneva® nas condições da região em estudo.
- Avaliar a produção e qualidade dos frutos das macieiras cultivar Fuji Suprema sobre os diferentes porta-enxertos da série Geneva®;

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Importância econômica

A macieira (*Malus domestica* Borkh.) é uma das frutíferas mais cultivadas no mundo, com produção de 85,06 milhões de toneladas em 2021. A China é o maior produtor mundial (38.491 toneladas), seguida dos Estados Unidos (4.079 toneladas) e da Turquia (2.889 toneladas). O Brasil ocupa a 11ª colocação, com produção de 1.300 toneladas em uma área de 33.138 hectares (FAOSTAT, 2021).

Ao longo da segunda metade do século XX, o Brasil aumentou sua produção, passando a atender a demanda do mercado interno, diminuindo a importação e se tornando exportador de maçãs. A produção brasileira concentra-se na região Sul do país, principalmente nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Os principais polos produtivos nacionais estão localizados em Vacaria no Rio Grande do Sul, Fraiburgo e São Joaquim em Santa Catarina e Palmas no Paraná (PETRI et al., 2011).

Embora existam muitas variedades, cerca de 60% da produção mundial se limita a cinco cultivares, no Brasil as cultivares Gala e Fuji, incluindo suas mutações espontâneas, representam mais de 90% da produção (PETRI et al., 2011).

A cultivar Fuji possui alta exigência em frio no inverno para superar a dormência, sendo este um dos principais dificuldades da cultura do país, pois o acúmulo de frio no inverno é quase sempre insuficiente. A cultura também apresenta, a alta suscetibilidade às principais doenças e alta demanda por mão-de-obra são os principais gargalos do cultivo da macieira no país (CHEN et al., 2017).

3.2 Classificação botânica

A macieira é frutífera de clima temperado da ordem Rosales, família *Rosaceae*, subfamília *Pomoideae*, gênero *Malus* e espécie *Malus domestica* Borkhausen. É uma planta lenhosa, decídua (IUCHI, 2006). A macieira cultivada comercialmente recebeu diferentes nomes científicos, mas ficou estabelecida como *Malus domestica* Borkh em 1803 (PUDWELL et al., 2005).

A sua inflorescência é do tipo umbela, apresenta seis a oito flores hermafroditas de coloração variando de brancas ou rosadas (PIO, 2018). Os frutos da macieira são simples, tipo

pomo. É pseudofruto, ou seja, fruto falso, carnoso, sendo a parte comestível o córtex do tubo floral e do receptáculo (SALAYA, 2012).

Como espécie de árvore caducifólia, a macieira é espécie de árvore que perde folhas no inverno e entra em estado de dormência (PETRI; LEITE, 2008). O ciclo de um ano é dividido em duas fases: a primeira fase é o desenvolvimento da flor (flores e frutos), período denominado de vegetativo. Nesse período, são realizadas as principais práticas de cultivo, tais como, raleio de frutos, poda verde, controle fitossanitário, manutenção de pomares e colheita. No sul do Brasil, esse período dura cerca de sete meses (outubro a maio) (IUCHI, 2006).

A fase de dormência vegetativa é a segunda fase. É o período de repouso que permite após um determinado tempo de exposição a baixas temperatura podem superar a dormência e retomar o seu crescimento (PETRI; LEITE, 2008).

Assim que ocorre a diferenciação em gema florífera, as flores são formadas. Sendo que cada flor é constituída por pétalas, sépalas, anteras, estigma e pedúnculo (FIORAVANÇO, 2013). A cultura da macieira necessita de diferentes cultivares no mesmo pomar para a que ocorra a polinização cruzada, visto que existe uma incompatibilidade entre as flores da mesma cultivar (KVITSCHAL et al., 2013). As cultivares Gala e Fuji, que são as mais cultivadas no Brasil podem se polinizar entre si (PETRI et al., 2008).

A ausência de cultivares polinizadoras, insetos polinizadores e condições climáticas adversas podem prejudicar a qualidade e produtividade de frutos, levando a uma frutificação menos eficiente e menor formação de sementes nos frutos, reduzindo a produtividade do pomar (DENARDI et al., 2013).

3.3 Características fenológicas e reprodutivas

Por meio da observação da fenologia da planta é possível descrever o momento de cada estágio do desenvolvimento das espécies e verificando o comportamento em diferentes ambientes (VALENTINI et al., 2001). O desenvolvimento da fenologia das plantas depende das condições climáticas, principalmente da temperatura. Assim, o conhecimento dos fenômenos biológicos de uma determinada espécie é útil na detecção e medição das mudanças climáticas locais e globais no clima da biosfera (ROETZER et al., 2000; SCHWARTZ, 2003).

O processo de desenvolvimento da gema até a formação de folhas, flores e frutos segue uma escala fenológica adaptado por Iuchi (2006), se divide em várias fases (descrita por letras) e subfases (descrita por números): A - Gema dormente; B – Gema inchada (ponta de prata); C - Ponta verde; C3 – Meia polegada verde; D – Meia polegada verde sem folhas; E – Botão

verde; E2 – Botão rosado; F – Início da floração; F2 – Plena floração; G – Final da floração; H – Queda das pétalas; I – Frutificação efetiva e J – Frutos verdes.

As macieiras são compostas por gemas vegetativas, que produzem apenas folhas e gemas produtivas que produzem flores, ou então gemas mistas, neste sentido, os tipos de ramos que as gemas podem formar, estão relacionadas à sua posição na planta e ao manejo da poda. A posição das gemas florais na fenologia e no crescimento dos ramos da macieira afeta diretamente o tamanho dos frutos. Os frutos com melhor qualidade e peso vêm de brindilas longas, e outras estruturas formam frutos de baixa qualidade (PETRI; LEITE, 2008).

Quando as gemas aparecem nos ramos, esses são classificados como ramos de extensões ou ladrões (> 30 cm), brindilas (10 a 30 cm) e dardos ou esporões (< 10 cm) (IUCHI, 2006; SOUSA, 2005).

Geralmente, as brindilas e dardos originam as flores, e brotos ladrões comumente origina diversas gemas vegetativas, que no segundo ano podem formar brotações curtas com gemas reprodutivas (IUCHI, 2006). As brindilas são ramos compostos de gemas floríferas laterais e uma gema florífera em seu ápice e esta estrutura origina frutos de melhor qualidade de formato e tamanho (PIO, 2018). Os esporões formam frutos de qualidade inferior aos frutos de gemas oriundas de brindila, contudo, a formação desses frutos anualmente contribui para o equilíbrio de produção do pomar (IUCHI, 2006; PETRI; LEITE, 2008).

3.4 Dormência em macieiras

A dormência é uma fase de desenvolvimento de plantas de clima temperado que ocorre anualmente, sendo uma adaptação dessas plantas às condições ambientais. Por meio dessa adaptação as frutíferas de clima temperado conseguiram sobrevivência em suas regiões de origem, em que apresentam baixas temperaturas durante o período de outono e inverno (RUIZ et al., 2007).

A ocorrência de eventos fenológicos varia de ano para ano devido a fatores climáticos, principalmente a desuniformidade da temperatura. Muitas pesquisas têm sido realizadas com o objetivo de avaliar a caracterização e adaptação de cultivares de macieiras no Brasil (OLIVEIRA; et al., 2017; SOSTER, 2007).

O final do ciclo vegetativo das macieiras, como outras espécies de clima temperados, apresenta a queda natural das folhas seguido de uma diminuição e/ou paralização do crescimento, para que a planta sobreviva as baixas temperaturas, iniciando o período de repouso

vegetativo ou dormência, que permite a sobrevivência da espécie com o frio intenso pela redução drástica de suas atividades metabólicas (PETRI et al., 2008).

Durante a dormência, as frutíferas de clima temperado necessitam de exposição frequente às baixas temperaturas no outono e inverno para que consigam atender às necessidades fisiológicas, para que ocorra brotação e floração satisfatória (OLSEN, 2006; RUIZ; CAMPOY; EGEEA, 2007).

A suspensão temporária do crescimento de toda a zona meristemática, ocorre em frutíferas de clima temperado é denominado dormência. Com isso, Lang et al. (1987) classificaram a dormência em três etapas: a paradormência (nesta dormência é ausente o desenvolvimento de uma gema resulta da influência de outro órgão da planta, como é o caso da dominância apical), a ecodormência (nesta dormência o desenvolvimento de uma gema é inibido por algum fator ambiental) e a endodormência (acontece em períodos de baixa temperatura, desenvolvimento da gema não ocorre devido a eventos bioquímicos e fisiológicos ao nível de meristemas).

Os mecanismos fisiológicos e bioquímicos envolvidos na entrada e saída da dormência, principalmente na etapa da endodormência, podem estar relacionados com modificações na estrutura celular (LARCHER, 2000), bem como fatores relacionados a genética e ambiente, como a cultivar e o porta-enxerto utilizado, pois o porta-enxerto influencia no fluxo de água, nutrientes, translocação de reservas, regulação hormonal, com isso promovendo diferentes reposta a ação do frio (EREZ, 2000), com intensidade e períodos distintos, de acordo com a cultivar, idade da gema e condições climáticas (CARVALHO; ZANETTE, 2004a, 2004b; PUTTI; PETRI; MENDEZ, 2003a, 2003b).

Por esta razão, o cultivo de macieiras foi inicialmente limitado a regiões de altas altitudes pela alta ocorrência de frio durante o período hibernal. Com o aumento da demanda pela fruta, durante a década de 70, houve a expansão da cultura e iniciou-se o cultivo desta espécie em regiões de clima subtropical e tropical. Por isso, vem se buscando a melhora nas técnicas de manejo e o melhoramento das cultivares adaptadas para estas regiões (JACKSON, 2000).

A brotação das gemas de frutíferas de clima temperado está intimamente relacionada ao frio de outono e inverno, portanto, é necessário o entendimento de frio que cada cultivar necessita para superação da dormência, garantindo uma brotação uniforme, com floração e produção de frutos de qualidade. A quantidade de frio necessária para a superação da dormência pode obtida por meio de diversos modelos matemáticos, sendo que o modelo mais utilizado durante muito tempo foi o da soma diária de horas de frio abaixo de 7,2 °C (ASHCROFT; RICHARDSON; SEELEY, 1977; EREZ; LAVEE, 1971). Existe ainda dois modelos: modelo

Utah e modelo Carolina do Norte. Estes modelos foram adaptados por Ebert et al. (1986) para as condições do Sul do Brasil e sofreram alterações para que as unidades de frio acumuladas fossem consideradas constantes até que novas unidades de frio positivas fossem observadas, uma vez que foram observados efeitos adversos de entorno da temperatura de 7,2 °C considerada padrão no modelo de horas de frio.

3.5 Cultivares de macieiras

A escolha da cultivar é variável importante para definição da produção, já que é necessário analisar as necessidades em exigências de frio de cada cultivar, bem como analisar os manejos necessários para cada cultivar e a sua comercialização, que irá depender de cada região de produção (PIO, 2018). Para regiões em que o acúmulo de frio é inferior ao necessário para a planta, torna-se imprescindível o emprego de cultivares com baixa necessidade de frio para tornar o cultivo possível (ANZANELLO; BIASI, 2016).

As cultivares do grupo Gala e Fuji são as mais cultivadas no Brasil. Essas duas cultivares são responsáveis por mais de 90% da produção nacional, grande parte sendo cultivada na região sul. Esses dois grupos de cultivares têm clones e mutações surgidas espontaneamente, proporcionando aprimoramento das características, comparadas as cultivares de origem, tornando-se material interessante para diversificar a fruticultura de clima temperado no país. Essas mutações foram bem aceitas pelo mercado consumidor e produtores, pois apresentam características interessante como o tamanho de fruto, coloração, vigor de planta, hábito de frutificação e resistência fitossanitária (FIORAVANÇO et al., 2010).

A cultivar Fuji surgiu no Japão em 1939, por meio do cruzamento entre Ralls Janet com a Delicious. No Brasil, sua introdução aconteceu por volta do ano de 1967 (FELIPINI; DI PIERO, 2009). Essa cultivar é responsável por proporcionar plantas vigorosas, com alta produtividade, hábito de crescimento verticalizado (PIO, 2018).

A maturação ocorre no final de março e início de abril, as frutas apresentam coloração com estrias vermelhas sobre fundo verde. Apresentam doçura, com baixa acidez, crocantes e suculentas, de tamanho médio a grande e possuem a epiderme fina e lisa (PIO, 2018). A cultivar Fuji é mais exigente em relação ao frio, precisando de 700-800 horas de frio abaixo de 7,2 °C, logo, não proporciona fácil adaptação climática para regiões com altitude inferior 1.300 m (PUDWELL et al., 2005).

A cultivar Fuji se destaca por possuir qualidade, especialmente pelo aroma, sabor e suculência, sendo essas características apreciadas no mercado brasileiro, esta cultivar possui

alguns clones (PIO, 2018). O clone Fuji Suprema é mutação espontânea da cultivar Fuji que aconteceu em 1986 em um ramo da cultivar Fuji na Estação Experimental de Caçador-SC. As plantas desta cultivar são de porte vigoroso, hábito de crescimento fechado. O florescimento acontece na segunda quinzena de setembro e seus frutos são arredondados com coloração da epiderme vermelho-escura, sem as estrias que é característica marcante da cultivar Fuji. Na primeira quinzena de março ocorre a maturação e a Fuji Suprema se diferencia pela coloração vermelha sólida, cobrindo mais de 80% do fruto (FIORAVANÇO et al., 2010).

3.6 Porta-enxerto

A frutíferas de clima temperado encontram diversas dificuldades para o seu cultivo no Brasil, sendo uma delas a adaptabilidade de cultivares às condições edafoclimáticas. Desta forma, a utilização de porta-enxertos na fruticultura, possibilitou o cultivo de inúmeras espécies e cultivares em variações climáticas e regionais (PASA et al., 2011).

Por se tratar de organismos sésseis, os vegetais possuem capacidade de regeneração, principalmente na reparação aos danos de vários estresses bióticos e abióticos. Além disso, possuem a capacidade de regenerar tecidos de cortes, feridas e regenerar completamente os tecidos, por isso o processo de enxertia é possível, visto que a essa capacidade de regeneração dos tecidos vasculares em torno do local da enxertia (MELNYK; MEYEROWITZ, 2015).

No processo de enxertia a qualidade desta técnica é importante para estabelecer a adaptabilidade e maximizar a produtividade da cultura (LEE et al., 2010). Sendo que, o porta-enxerto possui influências tanto nas características vegetativas com nas produtivas da copa, deste modo, pode influenciar na adaptação aos fatores ambientais, por sua ligação entre o solo e a cultivar, podendo interferir na absorção de nutrientes e adaptando-se às características físico-químico do solo (PIO, 2018).

O porte da planta pode ser modificado, por meio da utilização do porta-enxerto adequado. A redução do vigor vegetativo permite plantios mais adensados melhorando e facilitando o manejo do pomar (LEPSIS et al., 2013). Escolher o porta-enxerto apropriado promove características desejáveis de tamanho, vigor e superação de condições de estresse (MELNYK; MEYEROWITZ, 2015).

Além disto, o porta-enxerto também influencia o número de gemas potencialmente floríferas, em função do controle sobre o vigor da copa (PASA et al., 2011). O tamanho dos frutos também pode ser afetado pelo porta-enxerto, além de outras características relacionadas

a qualidade, como exemplo a forma do frutos, a coloração e espessura da epiderme e concentrações de sólidos solúveis e acidez dos frutos (LEE et al., 2010).

O vigor é principal característica observada na escolha do porta-enxerto, bem como a adaptação a certas condições climáticas conferido a variedade da copa (PIO, 2018). No entanto, porta-enxertos com alto vigor podem promover maiores oscilações anuais na produtividade (XU et al., 2021).

O sistema de plantio em alta densidade vem sendo altamente utilizada na fruticultura moderna, e para sucesso neste sistema a escolha do porta-enxerto deve obedecer algumas características de seleção, sendo levado em conta os custos de produção, facilidade no manejo e o sistema de substituição dos pomares, além dos efeitos da cultivar copa (DENARDI; KVITSCHAL, 2015). Com isso é necessária a utilização de porta-enxertos que apresentem características agrônômicas desejáveis a cultivar copa, facilitando as atividades de colheita, condução, raleio e melhora no calibre e coloração das frutas (PUDWELL et al., 2005).

Com o objetivo de elevar a produção e atenuar o vigor da planta houve aumento nos plantios de macieiras utilizando o porta-enxertos oriundos da série “East Malling”, adquirida por trabalhos realizados pela Estação de East Malling na Inglaterra. De vinte porta-enxertos lançados, somente o EM-7 e o EM-9 proporcionaram expressão comercial aceitável. No sul do Brasil, nos plantios modernos, predominam os porta-enxertos EM-9 (*Malus pumila* Miller) e Marubakaido (*Malus prunifolia* Borkh.) inter-enxertado com EM-9. O porta-enxerto Marubakaido combinado com EM-9, via inter-enxertia, é considerado boa opção entre os porta-enxertos para as condições climáticas da região sul, com boa resistência à podridão do colo (PUDWELL et al., 2005).

O porta-enxerto EM-9 é o mais utilizado no Brasil por promover a formação de planta anã (DENARDI; SPENGLER, 2001). No entanto, apresenta sistema radicular fraco, com limitação para penetrar ao solo, sendo assim, necessita de solos de alta fertilidade. Além disso, apresenta pouca tolerância ao excesso de umidade, produz “burrknots” (galhas aéreas), sendo também sensível às “doenças de replantio”, comuns em áreas de renovação. É suscetível ao fogo bacteriano (*Erwinia amylovora*), pulgão lanígero (*Eriosoma lanigerum*) e a galha da coroa (*Agrobacterium tumefaciens*) (DENARDI et al., 2016).

Na região Sul do Brasil, a podridão do colmo (*Phytophthora spp.*) e o pulgão lanígero (*Eriosoma lanígera*) são importantes problemas fitossanitários, sendo uma técnica para controle a utilização de porta-enxertos resistentes a esses organismos. Além disso, observa-se a tendência para o cultivo de macieira em altas densidade, deste modo se faz a necessária a

utilização de porta-enxertos anões, precoces e produtivos e principalmente resistentes aos principais patógenos da cultura (PIO, 2018).

Com isso, novos porta-enxertos estão sendo testados em várias regiões do mundo visando avaliar o desempenho de diferentes genótipos para macieira. Entre eles, vem se destacando as seleções denominada CG (Geneva[®]), desenvolvidos pela Universidade de Cornell, estado de Nova York – EUA, por meio do programa de melhoramento genético iniciado em 1968 pelo Dr. James Cummis e pelo Dr. Herb Aldwinckle (ROBINSON, 2011).

Os novos porta-enxertos da série Geneva[®] estão se destacando no mundo pelas altas produtividades, precocidade e tolerância a doenças, principalmente em áreas de replantio, diminuindo as “doenças de replantio”, sendo um dos principais problemas da expansão das áreas produtoras de maçã no país (DENARDI et al., 2016; ROBINSON, 2011).

O porta-enxerto G.202, é um híbrido interespecífico entre *Malus domestica* x *Malus robusta* de um cruzamento realizado em 1975, com os parentais: M.27 x Robusta 5. O porta-enxerto G.202 herdou algumas resistências de Robusta 5, boa tolerância a doenças de replantio e resistência ao pulgão lanígero. Pode ser considerado um porta-enxerto semi-anão, sendo que as cultivares copa, quando enxertadas sobre G.202, podem crescer de 35 a 40% a menos em relação a uma planta originária de sementes (CUMMINS; ALDWINCKLE; ROBINSON, 2006).

O porta-enxerto G.213 foi obtido por meio da hibridação interespecífico entre *Malus domestica* x *Malus robusta* obtido em cruzamento entre os parentais Ottawa 3 e Robusta 5 em 1976. É um porta-enxerto anão, de vigor compatível ao M.9 e as cultivares copas quando enxertadas sobre G.213 crescem de 25 a 35% em relação a planta originária de sementes (FAZIO et al., 2017).

O porta-enxerto G.814 é um híbrido interespecífico entre *Malus domestica* x *Malus robusta*, este porta-enxerto foi obtido por cruzamento realizado no ano de 1976 com os parentais Ottawa 3 e Robusta 5. É porta-enxerto considerado semi-anão, contudo, apresenta suscetibilidade à Apple Stem Grooving Virus (ASGV), que é um vírus latente causador do acanelamento do lenho da macieira e ao pulgão lanígero (FAZIO et al., 2015b).

O porta-enxerto G.210 é considerado um porta-enxerto semi-anão, sendo resistente à queima do fogo (*Erwinia amylovora*), bem como a podridão da coroa (*Phytophthora* spp.). É um híbrido de um cruzamento entre Ottawa 3 e o Robusta 5. Em relação ao seu vigor, possui porte semelhante ao EM-7, porém mais produtivo e precoce (CUMMINS; ALDWINCKLE; ROBINSON, 2006).

O sucesso do processo de enxertia depende principalmente da taxa de sobrevivência e da qualidade das ligações vasculares formadas no local que ocorreu a união do enxerto. A compatibilidade entre a cultivar copa e o porta-enxerto pode variar, tanto dentro da espécie como entre espécies. O tempo para ocorrer a cicatrização e regeneração dos tecidos no local da união pode levar dias até mesmo anos, dependendo da espécie ou então cultivar que se trata (REIG et al., 2018a).

A incompatibilidade entre cultivar copa e porta-enxerto impede o estabelecimento da planta, devido às falhas na regeneração e funcionalidade dos feixes vasculares (GAINZA; OPAZO; MUÑOZ, 2015). Sendo a incompatibilidade um sério problema em plantas frutíferas. Esse fato pode ser detectado pela deficiência na translocação da seiva, que acaba por gerar sintomas como abscisão foliar, amarelecimento de folhas, ou podendo ser observada pela anormalidade anatômica no local da enxertia, causando a descontinuidade das ligações vasculares (ZARROUK et al., 2010).

Por isso, é importante avaliar a compatibilidade da combinação da enxertia. A introdução de alguns novos porta-enxertos demanda de conhecimento da extensão e natureza das reações de compatibilidade (REIG et al., 2018a). Após a enxertia, ou seja, durante todo o período de cicatrização e regeneração dos tecidos, acontece diversos eventos e sinalizações na planta que acarreta em respostas e efeitos fisiológicos diferentes (MELNYK; MEYEROWITZ, 2015).

Esse processo de cicatrização pode ocorrer mais rápido ou lentamente, por isso é importante avaliar o comportamento fenológico da planta enxertada para detectar a presença de incompatibilidade. Podendo ser realizada por meio do estudo de características ligadas ao desenvolvimento vegetativo da planta, do potencial hídrico da folha e por meio de técnicas que identifiquem a presença de estresse na planta, como a avaliação da fluorescência da clorofila *a* e *b*, atividade de enzimas antioxidantes (OLIVEIRA; LOPES; SILVA-MATOS, 2017).

O crescimento das plantas enxertadas depende da compatibilidade entre o enxerto e o porta-enxerto, assegurando boa circulação da seiva para o crescimento vegetativo (REIG et al., 2018a). O crescimento das plantas é influenciado pela competição dos fotoassimilados entre a parte vegetativa (órgãos que promovem a frutificação) e o restante da planta. No entanto, os ramos, folhas e brotos são considerados os drenos mais forte, e por isso podem inibir a formação de gemas reprodutivas, prejudicando a produção de frutos (RUFATO; KRETZSCHMAR; BOGO, 2012).

Conforme mencionado, a seleção do porta-enxerto possui grande importância, pois o porta-enxerto influencia no controle o crescimento vegetativo das plantas, reduz o vigor da

planta no dossel, melhora a distribuição de fotoquímicos e aumenta a formação de botões florais, e conseqüentemente, a produtividade de frutos (PASA et al., 2012).

Quando ocorre a incompatibilidade da enxertia há a formação de calos, pela divisão celular desordenada, com diferenciação do floema e xilema afetados, ou até mesmo interrompida totalmente. Se a junção do enxerto apresentar danificações, os tecidos vasculares deixam de cumprir suas funções de forma eficiente, o que prejudica o crescimento da planta (MELNYK; MEYEROWITZ, 2015).

A incompatibilidade pode impedir a condutividade hidráulica dos vasos condutores (xilema e floema) podendo afetar o transporte e distribuição de água, minerais, fotoassimilados e outras substâncias necessárias às plantas. Danos a esta ligação entre a parte aérea e a raiz afetam o crescimento adequado da planta devido às mudanças no balanço de carboidratos, resultando na perda da capacidade de produção (CIOBOTARI et al., 2010).

A absorção de água também acaba sendo comprometida, por isso avaliar o potencial hídrico das folhas permite entender como estão as relações hídricas no sistema, constatando a influência da união do enxerto no transporte de água para a parte aérea (MARTÍNEZ-BALLESTA et al., 2010).

A escolha do porta-enxerto adequado permite melhor exploração e de maneira mais eficiente do solo, devido ao sistema radicular bem desenvolvido. Diferentes porta-enxertos podem ser utilizados para que os efeitos do estresse hídrico sejam minimizados, com isso, melhorando o desenvolvimento da planta copa (LEE et al., 2010).

Em condições de incompatibilidade, ocorrem distúrbios na regeneração da funcionalidade do câmbio vascular, devido a falhas na diferenciação dos tecidos formados. Essas alterações morfológicas e fisiológicas afetam a translocação da seiva em ambos sentidos, portanto, afetam os processos fisiológicos e metabólicos das plantas (CANAS et al., 2015).

A baixa disponibilidade de água e nutrientes torna mais difícil o sucesso do estabelecimento das plantas na fase juvenil. A disponibilidade de água afeta o crescimento das plantas, controlando a abertura e o fechamento dos estômatos. Quando as plantas são cultivadas em períodos de escassez hídrica, seja temporária ou não, o fechamento estomático afeta as trocas gasosas e, conseqüentemente, o acúmulo de fotoassimilados, resultando em redução da produtividade (TAIZ et al., 2016).

À medida que a temperatura aumenta ao longo do dia, aumenta a quantidade de evapotranspiração, ou seja, aumenta a taxa de perda de água do solo e das plantas para a atmosfera. O sistema radicular não conseguindo suprir esta demanda, vai desencadear reações de sinalização, como a síntese de ácido abscísico (ABA), que pode levar ao fechamento

estomático, devido à diminuição do potencial hídrico da folha. Logo, pode ocorrer a perda da turgescência foliar, diminuição da expansão celular e até mesmo degradação oxidativa dos tecidos (DÍAZ-ABRIL; VÉLEZ-SÁNCHEZ; RODRÍGUEZ, 2016).

Assim, a limitação de água afetará todos os processos bioquímicos e fisiológicos e afetará diretamente o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Neste sentido, em estudo para avaliar a compatibilidade de enxertos, o monitoramento do potencial hídrico da folha reflete o estado de hidratação dos tecidos e pode demonstrar o nível de estresse da planta (ARÉVALO-H; VÉLEZ; CAMACHO-TAMAYO, 2013).

3.8 Reações bioquímicas e estresses oxidativo

A enxertia abrange complicado conjunto de reações e mudanças morfológicas e fisiológicas que resultam na formação e realojamento de diferentes substâncias de sinalização (MELNYK; MEYEROWITZ, 2015). Em um trabalho que se utilizou *Arabidopsis thaliana*, avaliando o método de enxertia, verificou-se que entre estas substâncias, estão presentes a auxina, o ácido jasmônico e o etileno. Esses hormônios vegetais são responsáveis pela regulação de processos metabólicos, de importantes na interação entre o enxerto e o porta-enxerto, sendo indispensáveis para eventos subsequentes durante a cicatrização (YIN et al., 2012).

Quando existe a compatibilidade entre enxerto e porta-enxerto a renovação dos tecidos que sofreram lesões tendem a ser rápido, os tecidos do xilema e floema são formados e a ligação vascular é estabelecida novamente. Neste caso existe baixa probabilidade de ocorrer efeitos danosos decorrente de estresse ou ataque de patógenos (ALONI et al., 2010; GAINZA; OPAZO; MUÑOZ, 2015).

As lesões oriundas do processo de enxertia promovem uma situação de estresse para a planta e comumente favorece a síntese de espécies reativas de oxigênio (ERO), assim como inicia reações que acarretarão na morte celular programada (IRISARRI et al., 2015).

Quando acontece a incompatibilidade da enxertia, acaba por resultar em uma superprodução de EROs, causando conseqüentemente maior estresse oxidativo, resultando em elevada peroxidação lipídica, aumento dos danos e oxidação de proteínas e ácidos nucléicos (ALONI et al., 2010). Aloni et al. (2008) verificaram aumento na concentração H_2O_2 em raízes em que foram utilizados como tratamento alta concentração de NAA, resultando da incompatibilidade de alguns enxertos de melão e porta-enxertos de abóbora.

As espécies reativas de oxigênio (EROS) nos vegetais são os radicais livres O^{-2} (ânions superóxido), bem como OH (radical hidroxila), também os não-radicais como H_2O_2 (peróxido de hidrogênio) e 1O_2 (oxigênio singlete). Estas moléculas podem causar diversas anomalias nas estruturas das proteínas, DNA e lipídios, com isso, afetando no funcionamento das células e na seletividade da membranas (DAS; ROYCHOUDHURY, 2014). Para proteção as plantas realizaram a ativação de defesa antioxidativa (IRISARRI et al., 2015).

3.9 Pigmentos fotossintéticos e fluorescência da clorofila *a*

No método de mensuração dessa condição, a avaliação da concentração de clorofila nas folhas tem sido utilizada como indicador de incompatibilidade de translocação. Revelando que plantas com possíveis problemas de enxertia apresentam menores concentrações de clorofila (CIOBOTARI et al., 2010; MACHADO et al., 2017).

Além disso, uma maior proporção de clorofila *a* + *b* indica resposta adaptativa do complexo da antena (LAGE-PINTO et al., 2008). O aumento da concentração de clorofila *b* é indicativos, de quando as plantas estão em processo de adaptação a ambientes com pouca luz (WHATLEY, 2006). Em plantas expostas a este tipo de ambiente, a relação entre clorofila *a* e *b* tende a diminuir (LIMA; ZANELLA; CASTRO, 2010).

Plantas com sintomas de estresse oxidativo (desencadeado pelo processo de enxertia, neste caso) tendem a apresentar menores concentrações de clorofila *a* e *b* (TAÏBI et al., 2016). Portanto, pigmentos acessórios, como os carotenoides, são importantes na defesa dos órgãos fotossintéticos, pois participam do mecanismo de defesa contra o estresse oxidativo (GILL; TUTEJA, 2010).

A energia luminosa absorvida pelas clorofilas em uma folha pode ser utilizada para o processo da fotossíntese e o excesso de energia pode ser dissipado com calor ou então luz sofrer uma reemissão, que é fluorescência da clorofila (MAXWELL; JOHNSON, 2000).

A fluorescência da clorofila é considerada um mecanismo de dissipação de energia, assim como ocorre na fase fotoquímica e também na extinção não fotoquímica (SÁNCHEZ MOREIRAS et al., 2020; HAVAUX et al., 1991; BJÖRKMAN E DEMMIG-ADAMS, 1995).

A análise da fluorescência da clorofila *a* é uma importante ferramenta utilizada em experimento para detectar modificações ocorridas no processo fotossintético, especialmente em plantas sob condições de estresse (MAXWELL, 2000; ENDO et al, 1995).

Como as plantas enxertadas há predisposição a condições de estresse, a avaliação da fluorescência da clorofila *a* também é técnica não destrutiva que pode avaliar a eficiência dos

fotossistemas I e II (BAKER, 2008; BRESTIC; ZIVCAK, 2013). Os parâmetros medidos podem verificar o potencial de eficiência quântica do PSII, e verificar se o tecido está saudável ou danificado pela ação de substâncias oxidantes (ROUSSEAU et al., 2013).

A análise da fluorescência da clorofila *a* permite mensurar a atividade de transporte elétrons, no processo da fotossíntese, estando relacionada ao estresse, pois pode inibir este processo. Sendo assim essa mensuração possui importância para o estudo do funcionamento do maquinário fotossintético em resposta a vários estresses ambientais, como por exemplo ao estresse hídrico (Meyer et al., 1999).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Local do experimento

O experimento foi realizado no pomar agroecológico de fruticultura, localizado na área experimental do Departamento de Agronomia da UNICENTRO – Universidade Estadual do Centro Oeste no *Campus* CEDETEG, situada em Guarapuava – PR, com coordenadas geográficas 25°23'36" S, 51°27'1" O, e altitude de 1.025 metros.

A região apresenta clima subtropical úmido Cfb, com verões amenos e geadas no inverno (KOEPPEN, 1948). Estão apresentados na Figura 1 os dados de precipitação e temperaturas máximas e mínimas do ano de 2021 e 2022. Os dados meteorológicos foram obtidos de uma estação meteorológica (SIMEPAR/Guarapuava, PR, Brasil) localizada a cerca de 100 m do experimento.

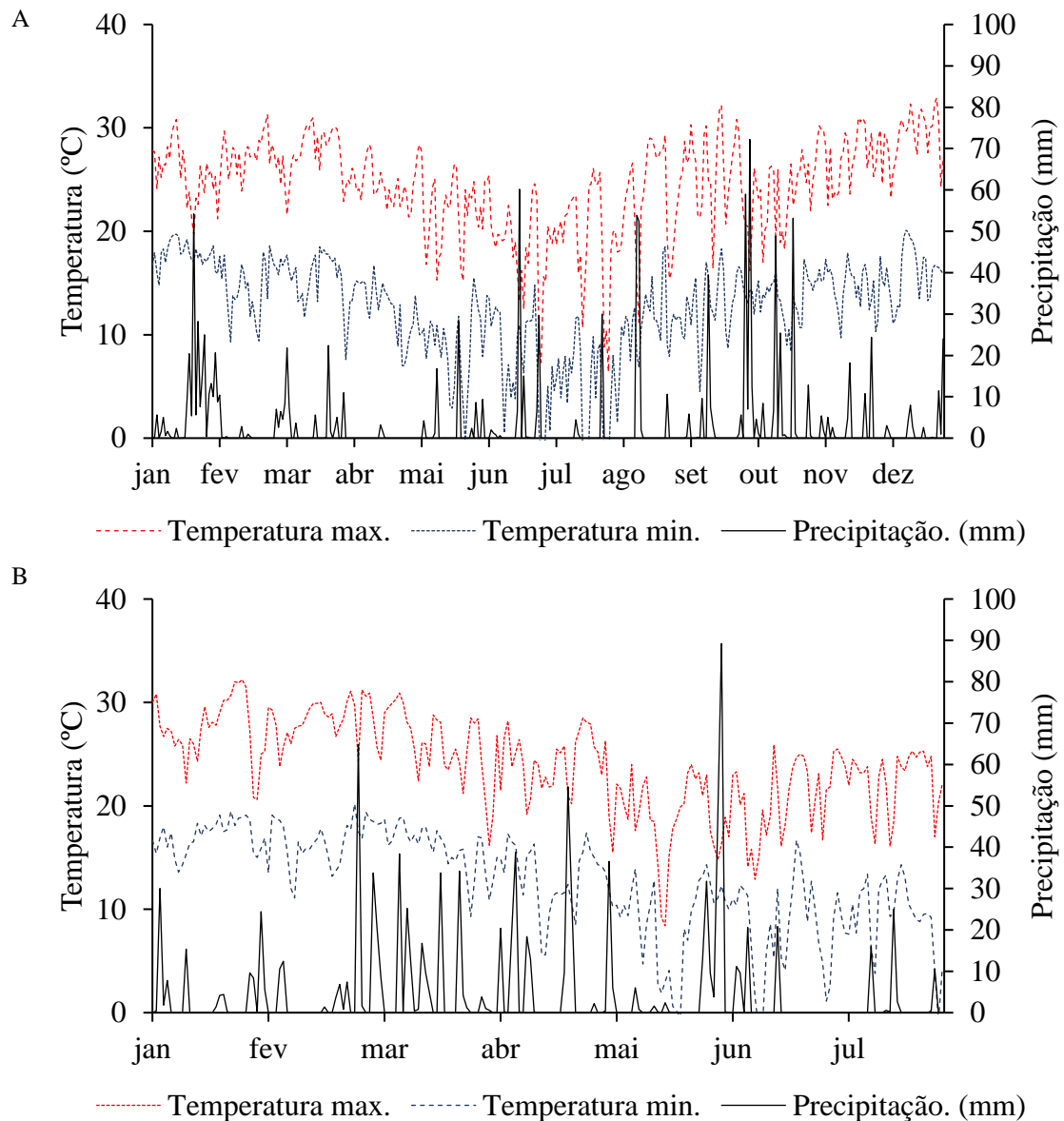


Figura 1. Precipitação pluviométrica e temperaturas máximas e mínimas diárias de 2021 (A) e de janeiro a julho de 2022 (B), Guarapuava-PR, 2022.

De acordo com Santos (2018), o solo da área do experimento é classificado como Latossolo Bruno distrófico típico. Para caracterização química do solo da área do experimento, foi realizado a coleta de amostras de solo em outubro de 2021 em dez pontos nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, com auxílio de um trado holandês. As análises foram realizadas no laboratório de solos e nutrição de plantas da Universidade Estadual do Centro-Oeste (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização química do solo da área experimental, com estratificação até 40 cm de profundidade, Guarapuava-PR, 2022.

Profundidade	M.O.	P	K⁺	Ca²⁺	Mg²⁺	Al	H+ Al	SB
(cm)	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	----- cmol dm ⁻³ -----					
0-20	3,53	6,48	0,66	6,76	2,97	0,05	5,77	10,39
20-40	3,74	4,13	0,47	5,54	2,54	0,09	5,86	8,55

Profundidade	Cu	Fe	Mn	Zn	V%	CTC	pH
(cm)	-----mg dm ⁻³ -----				%	pH 7,0	CaCl ₂
0-20	1,75	6,56	7,37	4,17	64,30	16,16	4,83
20-40	3,25	6,66	6,26	4,86	59,36	14,41	5,24

M.O. = matéria orgânica, P = fósforo; K⁺ = potássio, Ca²⁺ = cálcio, Mg²⁺ = magnésio, H+Al = Acidez potencial, SB = Soma de bases, CTC = Capacidade de troca de cátions, V = Saturação por bases, S = enxofre, B = boro, Fe = ferro, Cu = cobre, Mn = manganês e Zn = zinco.

4.2 Material experimental

Foram utilizadas mudas de macieira da cultivar Fuji Suprema sobre diferentes porta-enxertos (G.202, G.210, G.213 e G.814). As mudas são oriundas do município de Lages/ SC, foram plantadas no dia 14 de setembro de 2017, dispostas na área experimental considerando um espaçamento entre plantas 1 metro e 4 metros entre linhas

As plantas foram conduzidas em sistema de líder central em espaldeira, sendo conduzidas por um eixo central sobre o qual se origina os demais ramos, proporcionando formato piramidal na planta.

4.3 Tratos culturais

Para superação da dormência, foi realizada a primeira aplicação dia 18 setembro de 2021, utilizando óleo mineral + óleo vegetal ambos em concentração de 4% (600 mL de cada produto em 15 litros de água). Foram realizadas duas aplicações, com intervalo de 24 horas,

utilizando um pulverizador costal elétrico, com pontas de jato cônico.

Durante o período de condução do experimento, o controle de plantas invasoras e roçadas foram efetuados periodicamente para o manejo da cobertura vegetal.

O controle de pragas foi por meio da utilização de produtos permitidos na produção orgânica. Foi realizado por meio de pulverização com Óleo de Neen (1%) (Neenmax[®], ingrediente ativo: azadiractina). Durante a condução, foram realizadas aplicações de calda bordalesa (1%) para controle de doenças fúngicas. Foram realizadas aplicações de calda sulfocálcica para controle tanto de doenças fúngicas como insetos.

O arqueamento dos ramos foi realizado durante o período de repouso vegetativo no ano de 2021 em ângulos de 45 a 90 graus, para reduzir a competição com o líder central, além de melhorar a insolação no interior da copa, com isso promover a diferenciação das gemas.

4.4 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com quatro blocos e cinco plantas por parcela experimental. Os tratamentos utilizados foram os porta-enxertos (G.202, G.210, G.213 e G.814) totalizando quatro tratamentos.

4.5 Avaliações experimentais

4.5.1 Porcentagem de brotação e floração

Para a avaliação de brotação, quatro ramos do ano por planta foram marcados, nos quais foi realizado a contagem inicial das gemas brotadas na primavera de 2021.

As avaliações foram realizadas semanalmente após a superação da dormência, até a 80% das gemas brotadas, sendo considerado a estabilidade da brotação. A avaliação da floração foi conduzida juntamente com a brotação, foi realizada contagens semanais de flores abertas até atingir o fim da floração, sendo considerado o final da floração quando não se tem aumento na porcentagem de floração. Com base nesses resultados foi possível estabelecer o percentual de flores abertas durante todo o período de floração.

4.5.2 Diâmetro de tronco

Em cada planta foi medido o diâmetro médio do tronco a 20 centímetros acima do ponto

de enxertia, na dormência vegetativo de 2021 e as demais avaliações foram realizadas 30 dias após a plena brotação e no período de repouso vegetativo de 2022, utilizando paquímetro digital com os valores expressos em milímetros. Os resultados foram expressos como porcentagem do incremento de crescimento do diâmetro de tronco, sendo utilizado para os cálculos a diferença entre as avaliações.

4.5.3 Número, diâmetro e comprimento dos ramos secundários por planta

Foi realizada a contagem total do número de ramos secundários de três plantas centrais da parcela. A avaliação do diâmetro dos ramos foi realizada com auxílio de paquímetro digital com medição a 10 centímetros da inserção com o tronco e os valores foram expressos em milímetros. Para o comprimento de ramos, foi utilizado para avaliação fita métrica, os valores expressos em centímetros. A avaliação inicial foi realizada na entrada do repouso vegetativo de 2021, após a realização da poda de inverno, as demais avaliações 30 dias após a plena brotação e no período de repouso vegetativo de 2022. Os resultados foram expressos como porcentagem do incremento de crescimento do comprimento e diâmetro dos ramos, sendo utilizado para os cálculos a diferença entre as avaliações.

4.5.4 Altura de planta

Foram realizadas medições da altura de três plantas centrais da parcela, a avaliação inicial foi realizada na entrada do repouso vegetativo em 2021, após realização da poda de inverno, as demais avaliações 30 dias após a plena brotação nos anos de 2021 e 2022 com fita métrica. Os resultados foram expressos como porcentagem do incremento de crescimento da altura das plantas, sendo utilizado para os cálculos a diferença entre as avaliações.

4.5.5 Volume de copa

Para mensurar o volume de copa foi utilizado uma régua graduada e com o auxílio da fórmula (largura x espessura da copa no sentido da entrelinha x altura da copa), obteve-se o valor do volume da copa em m, a partir do ponto de inserção do primeiro ramo até o ápice. Para realizar as medidas foi utilizado as duas plantas centrais de cada parcela.

4.5.6 Área da seção transversal do caule

A área da seção transversal do caule (ASTC) da copa foi obtida por meio da média das

medidas longitudinal e transversal da linha de plantio do diâmetro do tronco, a 10 cm acima do ponto de enxertia. Para transformar os valores de diâmetro em ASTC foi utilizado a fórmula $A = (\pi d^2)/4$ onde, d =diâmetro do tronco e o resultado expresso em cm^2 . Para essa avaliação foi utilizado duas plantas centrais por parcela.

4.5.7 Fluorescência da clorofila *a*

A fluorescência da clorofila foi realizada utilizando fluorômetro portátil (Heinz Walz GmbH, *Portable Chlorophyll Fluorometer-PAM-2500*, Effeltrich, Alemanha). As leituras foram realizadas no período de brotação máxima, em folhas completamente expandidas no terço médio da planta.

Foram realizadas medições de cinética rápida, com adaptação das folhas ao escuro por 10 minutos para que os centros de reações estivessem abertos para receber elétrons. A leitura foi realizada em janeiro de 2022 no período da manhã, das 7 às 10h, em dia de pleno sol. Os parâmetros de fluorescência da clorofila *a* foram obtidos automaticamente e ficaram armazenados na memória do PAM.

Os parâmetros obtidos foram de fluorescência inicial (F_0) e fluorescência máxima (F_m), a partir dos quais foram calculados: a fluorescência variável (F_v) e eficiência máxima (F_v/F_m).

4.5.8 Análise do teor de clorofila

A análise do teor de clorofila foi realizada 30 dias após a plena brotação, foi retirado 5 folhas por planta, de três plantas por parcelas totalizando 15 folhas por tratamento em cada bloco, utilizando folhas completamente expandidas, localizadas no terço médio da planta. O procedimento de extração e análise foi realizada de as metodologias descritas na literatura (LICHTENTHALER et al., 1983; PORRA et al., 1989). Para extração dos materiais (folhas) foram pesado 0,025 g, evitando as nervuras das folhas.

Em seguida as folhas foram maceradas utilizando graal e pistilo com aproximadamente 8 mL de acetona 80%, a solução foi colocada em tubo de falcon, completado com acetona até atingir 50 ml e centrifugada a 4.000 rpm durante 15 minutos. Para realização da leitura foi utilizado espectrofotômetro (UV-1800 Shimadzu, Shimadzu Corporation®, Kyoto, Japão), nas absorvâncias de 470 nm; 663,6 e 646,6 nm.

Nos cálculos de teor de pigmentos clorofilianos (*a*, *b* e total) foram utilizadas as equações abaixo:

$$\text{Clorofila } a \text{ (}\mu\text{g ml}^{-1}\text{)} = 12,21A663-2,81A646$$

$$\text{Clorofila } b \text{ (}\mu\text{g/ml)} = 20,13A646-5,03A663$$

$$\text{Clorofila } a+b \text{ (}\mu\text{g/ml)} = 17,76A646-7,34A663$$

Para cálculo dos teores de carotenoides foi utilizada a equação:

$$\text{Carotenoides (}\mu\text{g/ml)} = \frac{(1000A470 - 3,27[\text{chl } a] - 104 [\text{chl } b])}{229}$$

4.5.9 Produção, número de frutos por planta, produtividade e massa média do fruto

Para mensurar o número de frutos por planta foi realizada a contagem dos frutos das três plantas centrais de cada parcela. Para mensurar a produção por planta foi realizada a pesagem de todos os frutos das três plantas centrais. A partir da área total de cada parcela e do somatório das massas dos frutos colhidos de cada parcela, foi obtida a produtividade total de frutos com valores expressos em toneladas por hectare (t ha^{-1}). Para obter os valores da massa média dos frutos, foi utilizado a relação produção e o número de frutos por planta.

4.5.10 Eficiência produtiva

Para calcular a eficiência produtiva foi utilizado a relação entre produção média por planta (kg planta^{-1}) e a área da seção transversal do caule da copa (cm^2), os valores foram expressos em kg cm^{-2} .

4.5.11 Avaliação da qualidade pós-colheita

Para a avaliação de sólidos solúveis (SS) foi obtido suco de 20 frutos por parcela, com auxílio de uma centrífuga doméstica (Philips Walita[®], Barueri-SP), após foi realizada a leitura direta em refratômetro digital modelo (Pocket refractometer Pal1, Atago, China) com correção de valores para 20 °C e valores expressos em °Brix.

Para análise de acidez titulável (AT) foram utilizados 10 ml de suco em 90 ml de água, realizado a titulação com NaOH 0,1N até atingir pH de 8,1, os valores obtidos foram expressos em porcentagem de ácido málico. Para a avaliação de firmeza da polpa as medições foram realizadas na região equatorial dos frutos, utilizando-se um penetrômetro eletrônico com uma ponteira de 7,9 mm de diâmetro, com profundidade de penetração de 9 mm (FR-5120, Lutron[®], Taiwan).

Para avaliação da coloração da epiderme dos frutos, foi realizada duas leituras em lados

opostos na região equatorial do fruto, utilizando colorímetro digital (Minolta CR 400, Konica Minolta, Japão). Foram determinados os valores de ângulo de cor ($^{\circ}$ hue), cromaticidade (C) e Luminosidade (L).

4.5.12 Índice de área foliar

A área foliar (AF) foi estimada utilizando-se o integrador de área foliar (modelo LI 3100, Li-cor, Lincoln®, Nebraska, Estados Unidos). Para coleta das amostras foram retiradas todas as folhas de uma planta por parcela, as folhas foram passadas pelo aparelho, uma a uma, obtendo-se os valores da área foliar (AF). O índice de área foliar (IAF) foi calculado por meio da relação funcional entre a área foliar (AF) e a área disponível às plantas, dada pelo espaçamento (1,0 x 4,0 m).

4.5.13 Massa fresca das plantas

Após a colheita dos frutos em 2022, foi realizada a retirada de uma planta por parcela para avaliação da matéria fresca, as plantas obtidas foram divididas em parte aérea e sistema radicular. Os materiais vegetais foram pesados em balança digital, valores expresso em kg, a partir dos valores de massa fresca de parte aérea (MFPA) e massa fresca do sistema radicular (MFSR) calculou-se a massa seca total por planta (MFT).

4.5.14 Coleta e obtenção dos extratos enzimáticos

Durante o mesmo período da primeira avaliação do pigmento da clorofila, três folhas totalmente expandidas de cada planta (inferior, intermediária e superior) foram coletadas para análise enzimática. As folhas coletadas foram acondicionadas em embalagens feitas de papel alumínio e posteriormente congeladas em nitrogênio líquido para interromper todas as reações para posterior extração enzimática.

A extração enzimática foi realizada para determinar o conteúdo proteico e a atividade da Superóxido Dismutase (SOD) (E.C.1.15.1.1) e (E.C. 1.11.1.6) e Peroxidases (POD) (EC. 1.11.1.7). Usando 0,20 gramas de folha, após foram moídas em nitrogênio líquido em um almofariz de porcelana. Após foi adicionado 4 ml de tampão de fosfato de potássio 50 mM (pH 7,0) contendo EDTA 0,1 mM e 1% (p / p) de PVP (polivinilpirrolidona). O homogenato foi centrifugado a 15.000 g durante 30 minutos a 4 ° C. Após centrifugação, o sobrenadante foi transferido para um tubo eppendorf e armazenado em freezer a -20 ° C para posterior

determinação (BALBI-PEÑA et al., 2014).

4.5.15 Proteínas totais e atividades enzimáticas

Para quantificar o teor de proteína total no extrato amostral, foi realizada de acordo como método proposto por Bradford (1976). Utilizando a curva padrão de albumina para determinar a concentração de proteína. A leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro a 595 nm, e o teor de proteína da amostra foi expresso em mg proteína g massa fresca⁻¹.

A atividade da superóxido dismutase (SOD) foi medida de acordo com o método proposto por Giannopolitis e Ries (1997). Essa análise leva em consideração a capacidade da enzima de inibir a fotorredução de NBT (cloreto de azul de nitrotetrazólio). A inibição da redução fotoquímica do NBT foi avaliada por meio da leitura em espectrofotômetro no comprimento de onda de 560 nm. A atividade SOD necessária para a inibição de 50% da redução de NBT é definida como uma unidade de enzima (U). O cálculo da atividade específica da enzima SOD leva em consideração a porcentagem de inibição obtida, o volume da amostra e a concentração de proteína da amostra. A atividade da enzima foi expressa em U min⁻¹ mg proteína⁻¹.

4.5.16 Potencial hídrico

Para avaliação do potencial hídrico foliar, foram coletadas duas folhas completamente expandidas de duas plantas por parcela. Foram realizadas as leituras na primeira quinzena de janeiro de 2023, as leituras foram realizadas às 12h, através do método da câmara de pressão, utilizando-se câmara de Scholander (modelo SEC-3005F01H07G4P40, Soil Moisture Equipment, EUA). Para a realização das leituras, as plantas passaram por um período de cinco dias sem precipitação e irrigação e com pleno sol. A tensão foi lida diretamente do manômetro, sendo o resultado expresso em megapascal (MPa).

4.5.17 Determinação de teores nutrientes

Para a avaliação do teor nutricional, foi retirado 20 folhas por planta, de três plantas por parcelas totalizando 60 folhas por tratamento em cada bloco, após foram lavadas com detergente neutro e em água corrente, colocadas para secar na estufa a 70 °C em saco de papel

até a obtenção de peso constante. Em seguida, foram moídas utilizando-se Moinho de Facas, Tipo Willey (MA340, Marconi, Piracicaba, São Paulo, Brasil) e armazenadas em saco de polietileno para às análises posteriores.

A determinação dos teores de nutrientes nas amostras secas e moídas foram obtidos após digestão sulfúrica para o nitrogênio (N), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), cobre (Cu), manganês (Mn) e zinco (Zn), conforme a metodologia descrita por Embrapa (2009).

4.6 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram avaliados quanto à normalidade pelo Teste de Shapiro Wilk, submetidos à análise de variância e quando significativos, as médias foram comparadas pelo Teste de Scott-Knott a 5% de significância ($p \leq 0,05$) utilizando o programa estatístico SISVAR versão 5.6 (FERREIRA, 2014). As Análises de Componentes Principais (PCA) foram realizadas no software ORIGIN 9.6.

5.RESULTADOS

5.1. Brotação

O início da brotação ocorreu durante o final do mês de setembro e se prolongou até o mês de novembro. Na análise inicial da brotação, 7 dias após a superação da dormência (DAD), não houve diferença entre os tratamentos. Na avaliação realizada 14 dias após a quebra de dormência até as plantas estabilizarem a brotação, aos 42 dias após a quebra de dormência, o porta-enxerto G.202 apresentou maior porcentagem de gemas brotadas e os demais porta-enxertos não diferenciaram entre si (Figura 2). Deste modo o porta-enxerto G.202 antecipou e incrementou a brotação das plantas de macieiras cultivar Fuji Suprema.

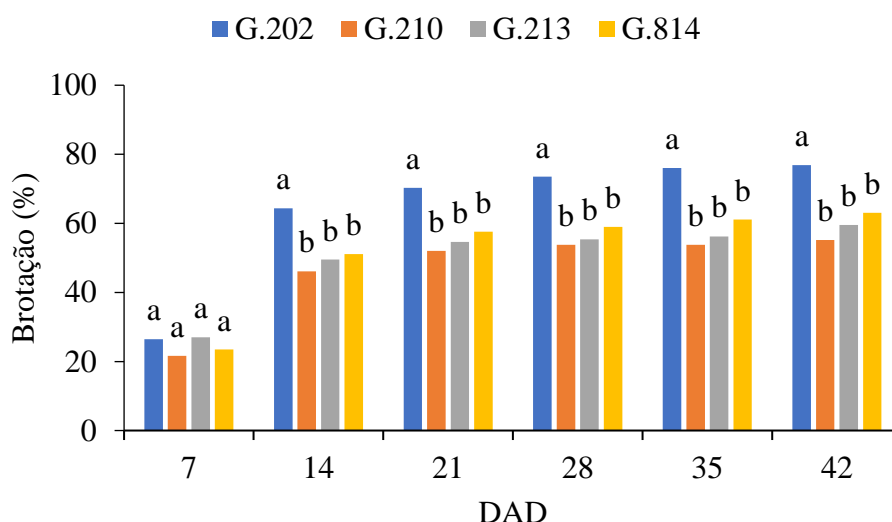


Figura 2. Brotação em macieiras cultivar Fuji Suprema sob influência dos porta-enxerto da série Geneva®. Guarapuava, PR, 2022. *Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de *Scott-Knott* ($P>0,05$).

5.2. Floração

Para porcentagem de floração, na avaliação realizada entre 7 e 28 DAD, o porta-enxerto G.213 apresentou maior porcentagem de flores em relação aos demais tratamentos, na avaliação de 35 DAD não houve diferença significativa entre os porta-enxertos. Sendo que aos 42 DAD as plantas alcançaram máximo florescimento, ou seja, não houve aumento na porcentagem de florescimento (Figura 2). Desta maneira o porta-enxerto G.213 antecipou a floração de macieiras cv. Fuji Suprema em relação aos demais .

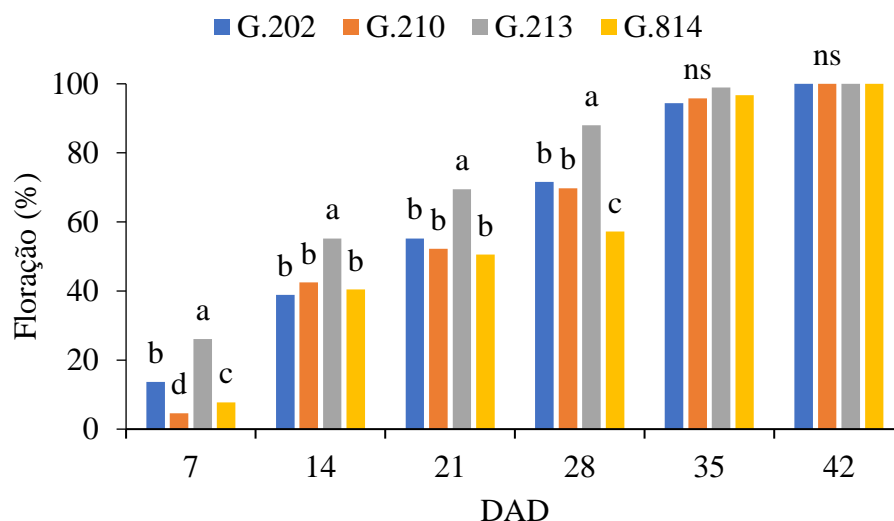


Figura 3. Porcentagem da floração em macieiras cultivar Fuji Suprema sob influência dos porta-enxerto da série Geneva®. Guarapuava, PR, 2022 *Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste de *Scott-Knott* ($\rho < 0,05$). / n.s.: não significativo.

5.3. Desenvolvimento Vegetativo

5.3.1 Altura de planta e diâmetro do tronco

Para os resultados de altura de plantas, houve diferença significativa entre os porta-enxertos testados, observando-se que a porcentagem do incremento em altura foi superior para o porta-enxerto G.210 (16,98 %), seguido dos porta-enxerto G.814 e G.213 que apresentaram um incremento em altura de 10,41 e 8,66 % respectivamente. As plantas enxertadas sob o porta-enxerto G.202 (6,21 %), apresentou o menor crescimento em altura (Figura 4A).

Em relação ao incremento do diâmetro do tronco houve efeito significativo dos porta-enxertos. O porta-enxerto G.210 apresentou maior incremento do diâmetro do tronco, os demais porta-enxertos não diferenciaram entre si, apresentando menor crescimento do diâmetro de tronco (Figura 4B).

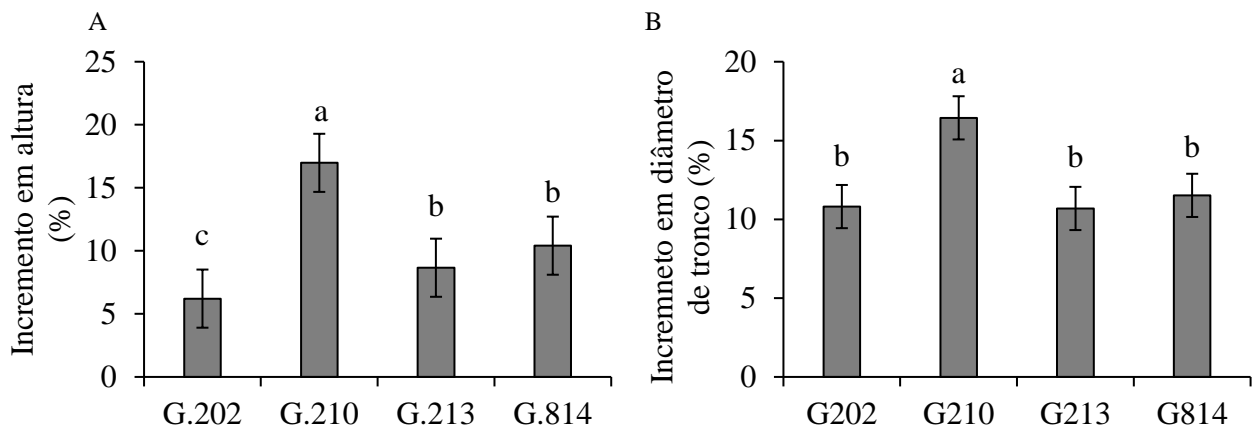


Figura 4. Incremento em altura de plantas (%) (A) e incremento em diâmetro de tronco (%) (B) de macieiras cv. Fuji Suprema sobre diferentes porta-enxertos da série Geneva. Guarapuava, PR, 2022. *Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste de *Scott-Knott* ($p < 0,05$).

5.3.2 Número, comprimento e diâmetro dos ramos

Houve diferenças significativas para número de ramos (Figura 5A), os porta-enxertos G.202 e G.210 apresentaram maior número de ramos por planta, quando comparado ao porta-enxerto G.213 e G.814 que apresentaram menor número de ramos.

Em relação ao incremento em comprimento de ramos, os tratamentos apresentaram diferença significativa. O porta-enxerto G.814 (192,61%) apresentou maior incremento em comprimento de ramos. O porta-enxerto G.213 (119,23%) apresentou menor incremento no comprimento de ramos comparado aos demais porta-enxertos (Figura 5 B).

Para incremento no diâmetro de ramos, houve diferença significativa entre os porta-enxertos. O porta-enxerto G.202 apresentou maior incremento no diâmetro de ramos. E os demais porta-enxertos apresentaram menor crescimento do diâmetro de ramo e não apresentaram diferença entre si (Figura 5 C).

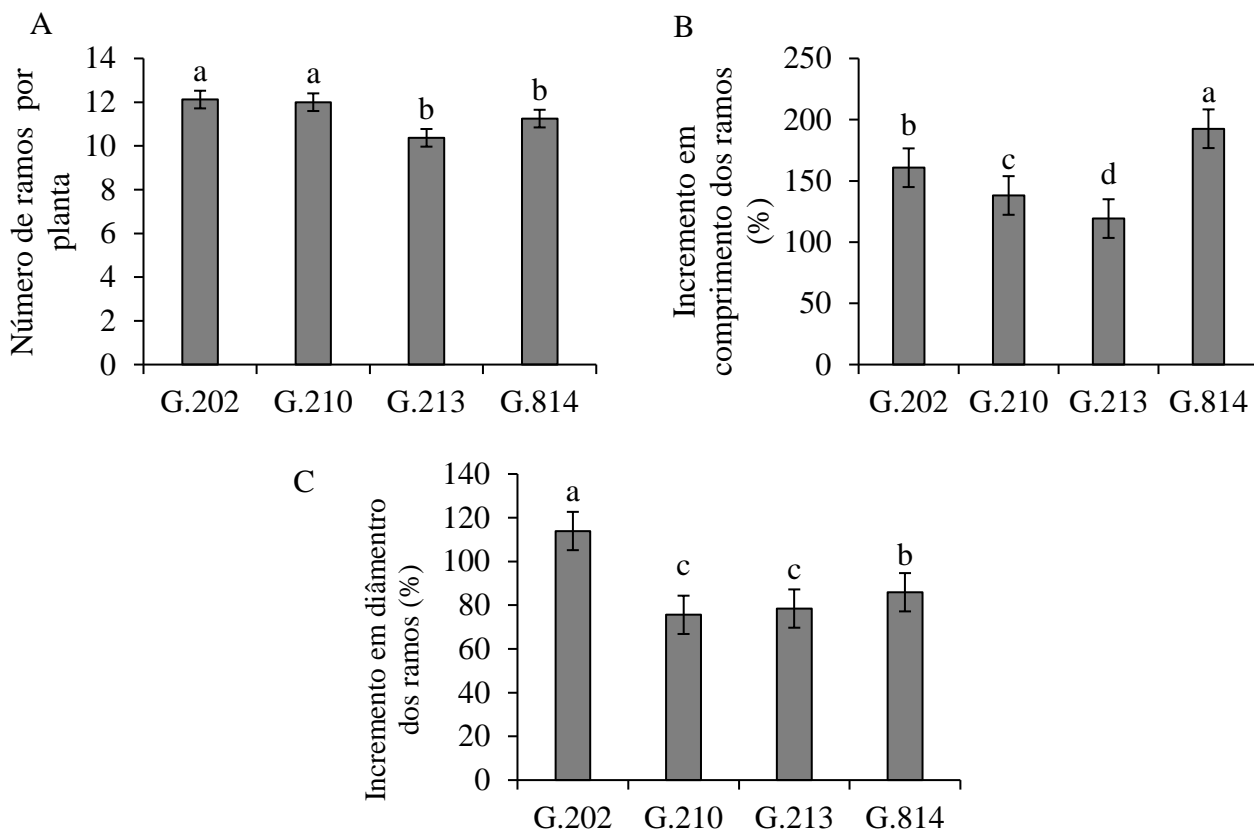


Figura 5. Número de ramos por planta (A), incremento em comprimento dos ramos de plantas (B) e incremento do diâmetro dos ramos de plantas (C) de macieira cv. Fuji Suprema sobre diferentes porta-enxertos da série Geneva. Guarapuava, PR, 2022. *Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste de *Scott-Knott* ($p < 0,05$).

5.3.3 Área da seção transversal do caule e Volume de copa

Em relação a variável área da seção transversal do caule (ASTC) o porta-enxerto G.213 proporcionou o menor crescimento de tronco da cv. Fuji Suprema, os porta-enxertos G.202, G.210 e G.814 promoveram maior crescimento de tronco de macieiras (Figura 6 A).

Houve variações no volume de copa das macieiras cv. Fuji Suprema em função do porta-enxerto. É possível observar que as macieiras enxertadas sobre o porta-enxerto G.213 apresentaram menor valor para essa variável, os porta-enxertos G.210 e G.814 proporcionaram maior volume de copa (Figura 6 B).

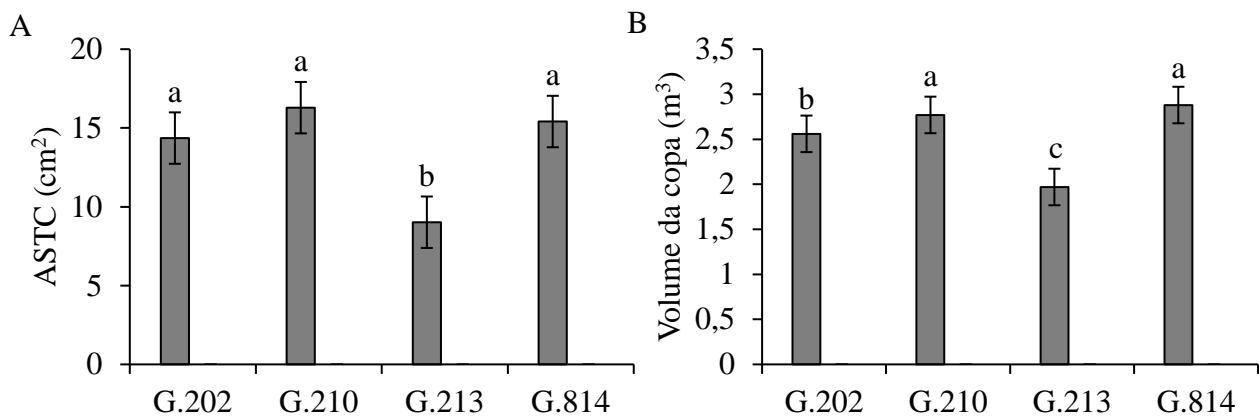


Figura 6. Área da seção transversal do caule (ASTC) (A), Volume de copa (B) de macieira cv. Fuji Suprema sobre diferentes porta-enxertos da série Geneva. Guarapuava, PR, 2022. *Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste de *Scott-Knott* ($p < 0,05$).

5.3.4 Massa fresca da parte aérea (MFPA), sistema radicular (MFSR) e total (MFT)

Houve diferenças para MFPA entre os porta-enxertos testados. O porta-enxerto G.210 proporcionou maior MFPA. O porta-enxerto G.213 obteve menor valor para MFPA (Figura 7A). Para MFSR, os porta-enxertos apresentaram diferença significativa, o porta-enxerto G.814 obteve maior peso de MFSR, seguido dos porta-enxertos G.202 e G.210 que não apresentaram diferença entre si. O porta-enxerto G.213 obteve valores inferiores em relação ao peso de MFSR (Figura 7B). Em relação a MFT houve diferença entre os porta-enxertos testados, sendo o porta-enxerto G.210 e G.814 apresentaram maior MFT e o porta-enxerto G.213 obteve menor valor (Figura 7C).

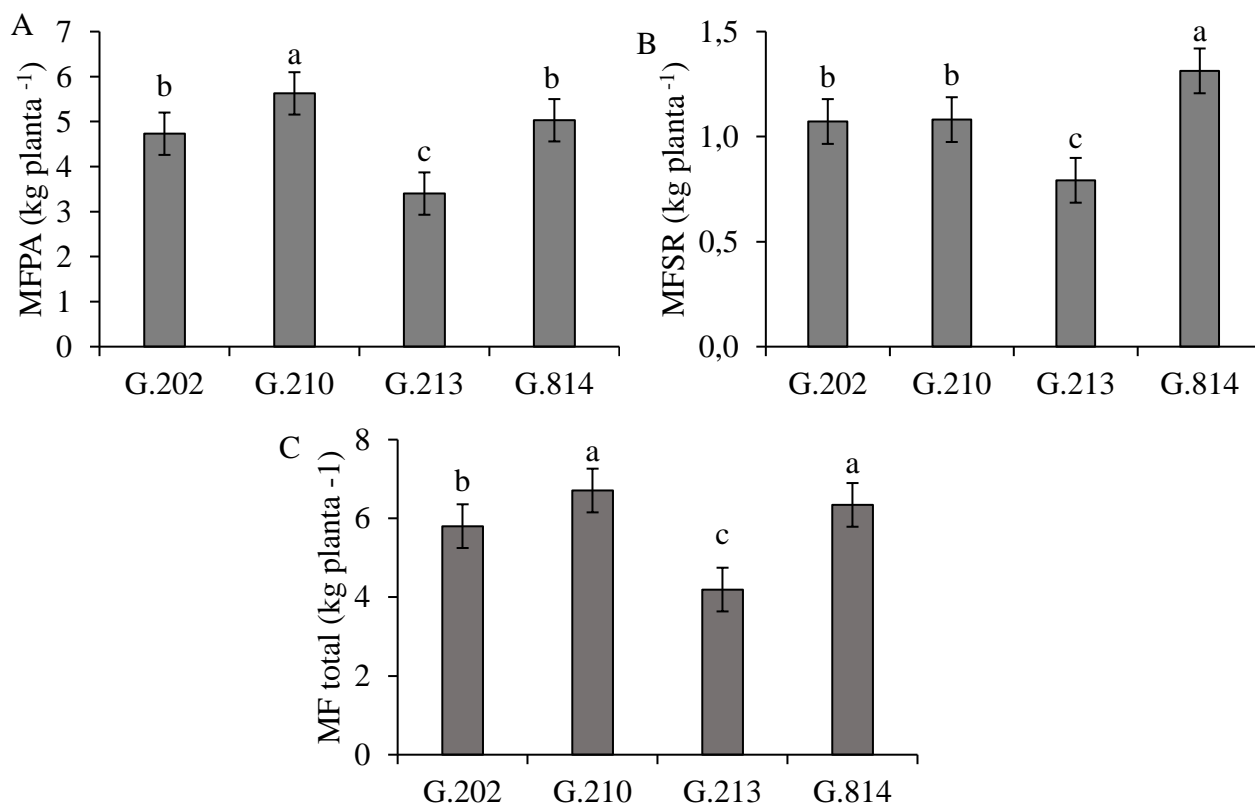


Figura 7. MFPA (g planta⁻¹) (A), MFSR (g planta⁻¹) (B) e MF total (g planta⁻¹) (C) de macieiras cv. Fuji Suprema sobre diferentes porta-enxertos da série Geneva. Guarapuava, PR, 2022. *Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste de *Scott-Knott* ($p < 0,05$).

5.3.5 Índice da área foliar

Notam-se diferenças nos resultados obtidos para índice da área foliar (IAF), sendo que o porta-enxerto G.213 proporcionou menor IAF para macieiras cv. Fuji Suprema. As macieiras enxertadas sobre os porta-enxertos G.202 e G.210 apresentaram valores superiores, não apresentando diferença entre si (Figura 8).

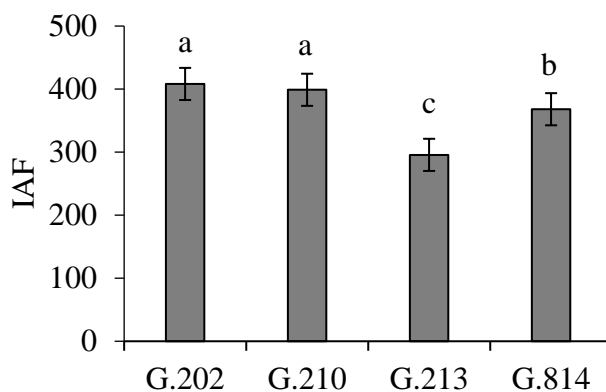


Figura 8. IAF de plantas de macieiras cv. Fuji Suprema sobre diferentes porta-enxertos da série Geneva. Guarapuava, PR, 2022. *Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo

Teste de *Scott-Knott* ($p < 0,05$).

5.4. Produtividade

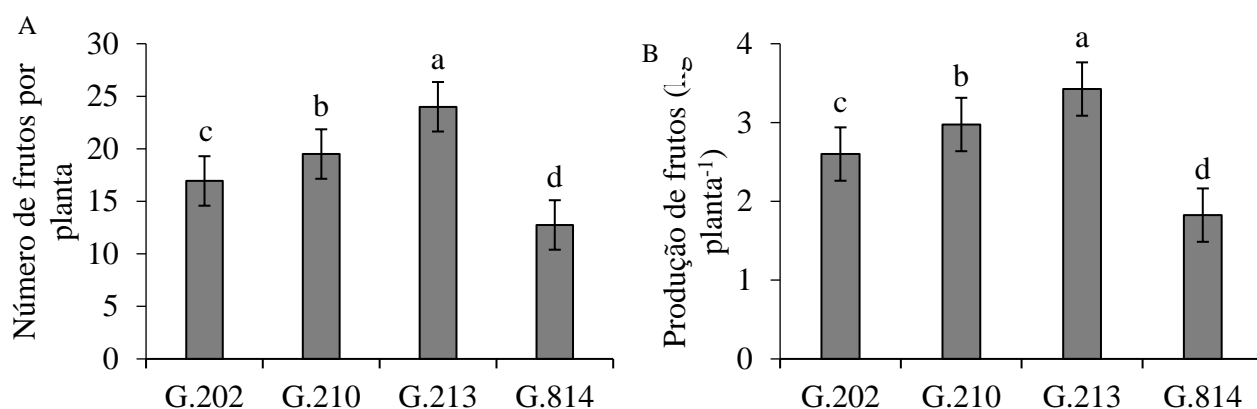
O número de frutos por planta foi influenciado pelos diferentes porta-enxertos. O porta-enxerto G.213 apresentou número de frutos por planta superior aos demais porta-enxertos para cultivar Fuji. O porta-enxerto G.814 apresentou número de frutos por planta inferior se comparado aos demais porta-enxertos para cultivar Fuji (Figura 9A).

O porta-enxerto G.213 obteve produção de frutos por planta superior aos demais porta-enxertos para cultivar Fuji. O porta-enxerto G.814 apresentou produção de frutos por planta inferior se comparado aos demais porta-enxertos para cultivar Fuji (Figura 9B).

Em relação a produtividade, houve diferença significativas entre os porta-enxertos da série Geneva. Sendo porta-enxerto G.213 superior em produtividade se comparado aos demais porta-enxertos para cultivar Fuji. O porta-enxerto G.814 obteve produtividade inferior em relação aos demais porta-enxertos para cultivar Fuji (Figura 9C).

Para massa média por fruto houve diferença entre os porta-enxertos. Os porta-enxertos G.202 e G.210 apresentaram frutos de maior tamanho e não diferenciaram entre si, os porta-enxertos G.213 e G.814 apresentaram resultados inferiores e não diferenciaram entre si (Figura 9D).

Observa-se que o porta-enxerto anão G.213 proporcionou maior eficiência produtiva para macieiras cv. Fuji Suprema, quando comparadas as macieiras enxertadas sobre o porta-enxerto G.814 apresentaram menor eficiência produtiva (Figura 9E).



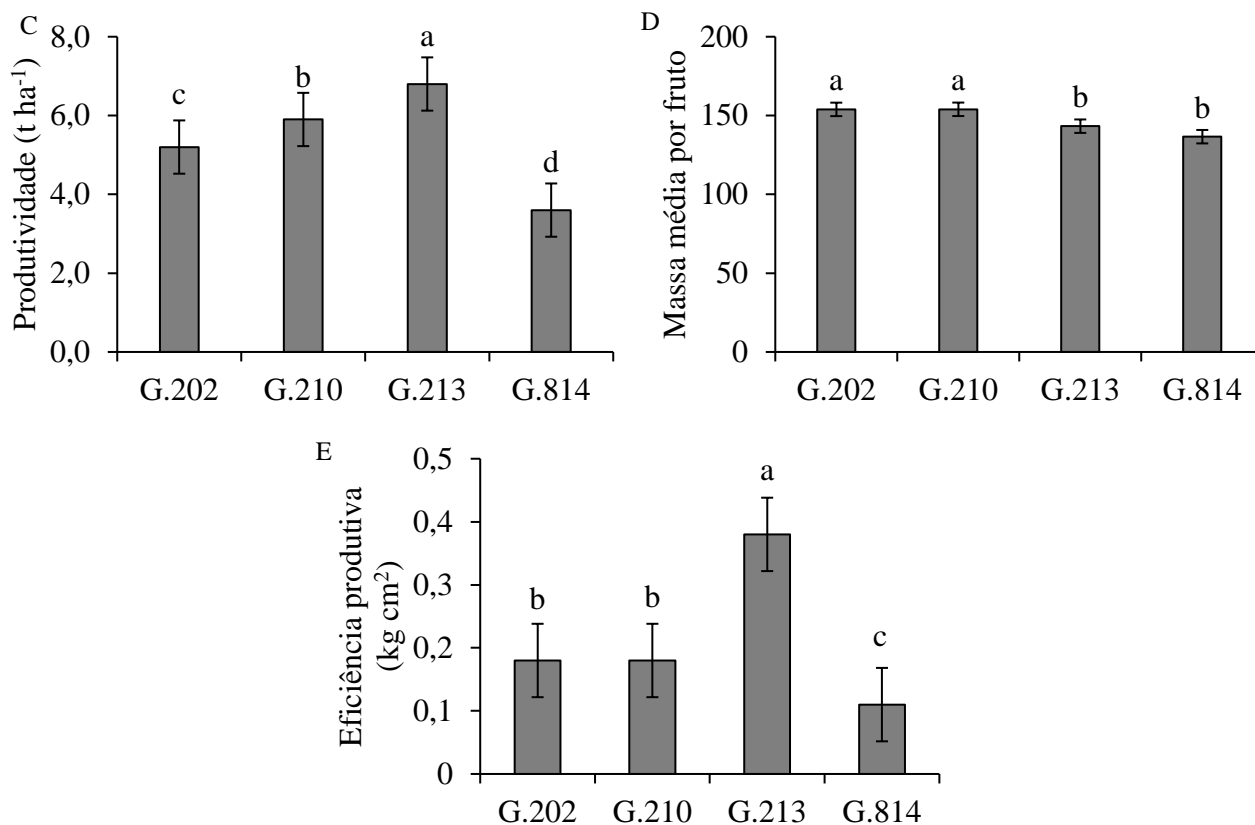


Figura 9- Número de frutos (A), produção de frutos em kg planta⁻¹ (B), produtividade (C), Massa média por fruto (grama)(D) e eficiência produtiva (E) de macieiras cv. Fuji Suprema sobre diferentes porta-enxertos da Série Geneva®, Guarapuava– PR, 2022. *Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste de *Scott-Knott* ($p < 0,05$).

5.5. PCA para características vegetativas e de produção

A análise de componentes principais (PCA) foi realizada utilizando os dados do desenvolvimento vegetativos e produtividade (Figura 10). Os componentes principais 1 e 2 explicam 87,72% da variação dos dados. Os principais resultados da PCA mostraram que o porta-enxerto G.213, apresentou os maiores valores para produtividade e eficiência produtiva (2º quadrante). Em contraste, o porta-enxerto G.210, apresentou os maiores valores para incremento em altura, incremento do diâmetro de tronco, área da seção transversal do caule, número de ramos e volume de copa (1º quadrante). Os porta-enxertos G.202 e G.814 foram agrupados por apresentarem o maior incremento do comprimento de ramo e incremento do diâmetro do ramo (4º quadrante).

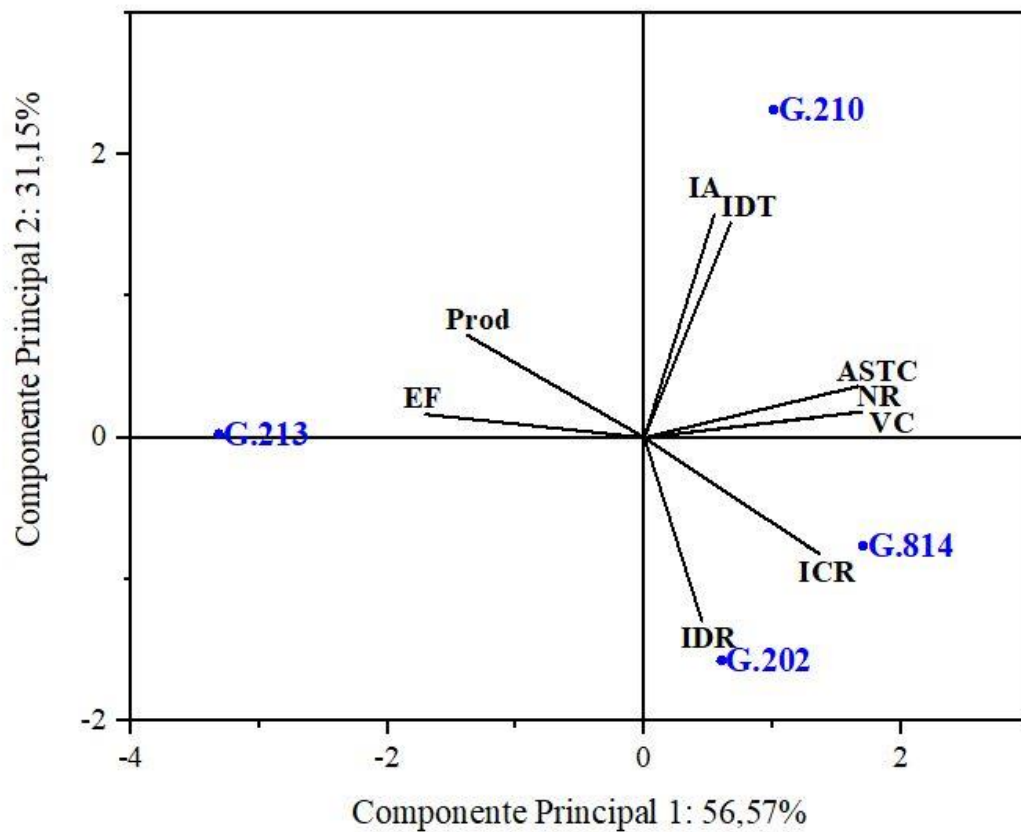


Figura 10. Análise dos componentes principais para características vegetativas e de produção de macieiras cv. Fuji Suprema sobre diferentes porta-enxertos da Série Geneva®, Guarapuava-PR, 2022. Produtividade $t\ ha^{-1}$ (Prod), eficiência produtiva (EF). Incremento em altura de planta (IA), incremento em diâmetro de tronco (IDT), área da seção transversal do caule (ASTC), número de ramos (NR), volume de copa (VC), incremento de comprimento de ramos (ICR), incremento no diâmetro de ramo (IDR).

5.6. Fluorescência da clorofila *a*

Os resultados da análise da emissão de fluorescência da clorofila *a* realizado pelo método da cinética rápida (curva OJIP) de macieiras enxertadas sobre diferentes porta-enxertos da Série Geneva. Estão representados na curva OJIP o alcance da fluorescência transitória, tendo como ponto inicial a fluorescência inicial (F_0) até a fluorescência máximo (F_m) (Figura 11).

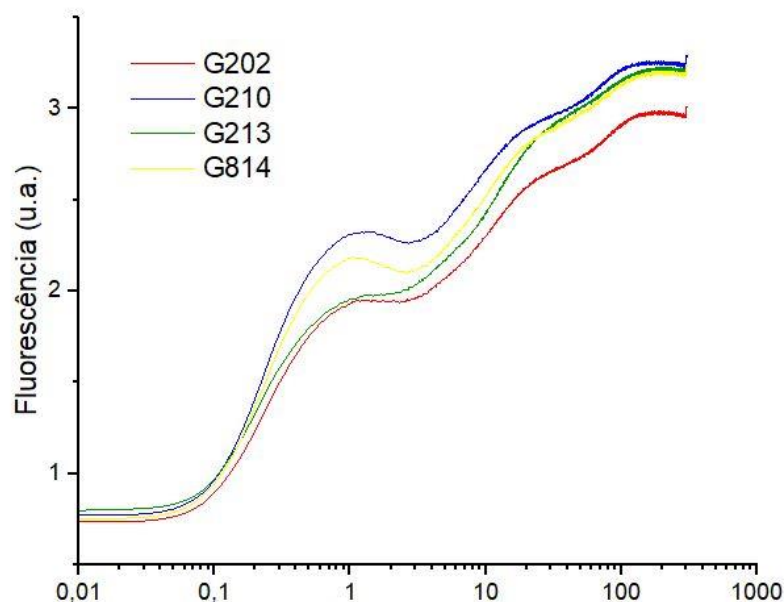


Figura 11. Curva OJIP da fluorescência da clorofila *a* de folhas de macieiras cv. Fuji Suprema sobre diferentes porta-enxertos da série Geneva. Guarapuava, PR, 2022.

A relação F_v/F_m é uma variável que retrata a eficiência quântica máxima fotoquímica do PSII. Para a relação F_v/F_m não foi encontrada diferença significativa para esse parâmetro entre os diferentes porta-enxertos. Foram observadas diferenças estatísticas significativas para os parâmetros F_0 , F_m , F_v e F_v/F_0 em diferentes porta-enxertos (Figura 12).

A fluorescência inicial representa o momento em que os centros de reação estão abertos. Para esse parâmetro as macieiras enxertadas com o porta-enxerto G.213 apresentaram fluorescência inicial superior aos demais porta-enxertos (Figura 12A). Em relação a fluorescência máxima, as plantas enxertadas sobre os porta-enxertos G.210, G.213 e G.814 apresentaram valores superiores ao obtidos em macieiras enxertadas sobre o G.202 (Figura 12B).

Para a fluorescência variável, que representa o fluxo de elétrons do PSII até a plastoquinona, plantas enxertadas sobre porta-enxerto G.202 apresentaram resultado inferior as plantas enxertadas com os demais porta-enxertos (Figura 12C). A relação F_v/F_0 representa a atividade potencial do PSII, houve reduções neste parâmetro nas plantas enxertadas com o porta-enxertos G.213 e G.202 significativas quando comparadas às plantas enxertadas com os porta-enxertos G.210 e G.814 (Figura 12D).

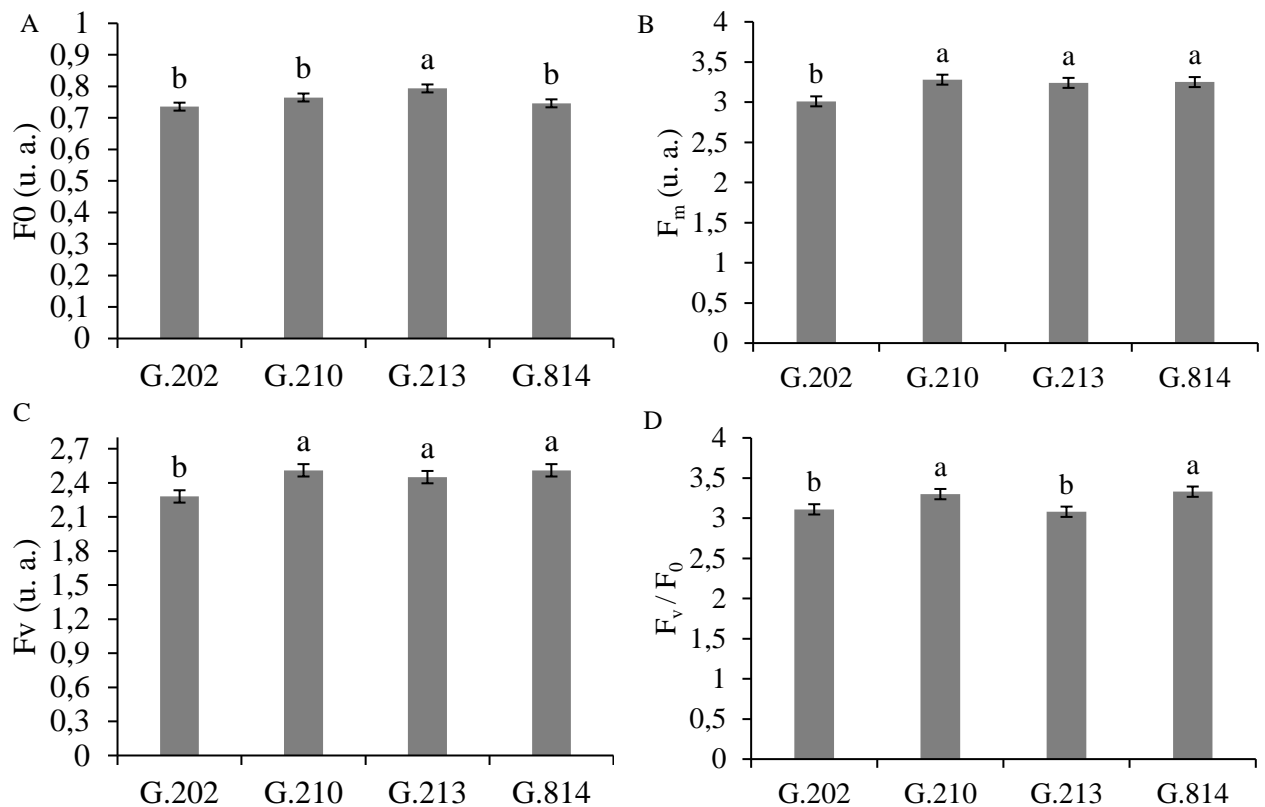


Figura 12. Parâmetros F_0 (A), F_m (B), F_v (C) e F_v/F_0 (D) da fluorescência da cinética rápida da clorofila a obtidos da curva OJIP de folhas de macieiras cv. Fuji Suprema sobre diferentes porta-enxertos da série Geneva. Guarapuava, PR, 2022. *Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste de *Scott-Knott* ($p < 0,05$).

5.7. Pigmentos fotossintéticos

Para as concentrações de clorofila a foi observado maior concentração no porta-enxerto G.213 e os demais porta-enxertos apresentaram concentrações inferiores e não diferenciaram entre si (Tabela 2). Para concentração de clorofila b o porta-enxerto G.202 obteve média superior aos demais, o porta-enxerto G.814 apresentou menor concentração de clorofila b . Para o teor de clorofila total ($a+b$), não foram observadas diferenças significativas entre os porta-enxertos (Tabela 2).

A relação entre as concentrações de clorofila a e b foi influenciado pelos diferentes porta-enxertos, sendo que os porta-enxertos G.210, G.213 e G.814 aumentaram e G.202 reduziu a relação entre os pigmentos fotossintéticos a e b . Para os teores de carotenoides os porta-enxertos G.814 e G.210 apresentaram resultados superiores, o porta-enxerto G.202 apresentou menor concentração de carotenoides, não apresentando diferença do porta-enxerto G.213 (Tabela 2).

Tabela 2 - Concentração de pigmentos ($\mu\text{g mL}^{-1}$) de macieiras cv. Fuji Suprema sobre diferentes porta-enxertos.

Porta-enxertos	Concentração de pigmentos ($\mu\text{g mL}^{-1}$)				
	Clorofila <i>a</i>	Clorofila <i>b</i>	Total (<i>a+b</i>)	Relação <i>a/b</i>	Carotenoides
G.202	4,654 b	1,604 a	6,408 ns	2,864 b	1,479 b
G.210	4,657 b	1,381 b	6,183	3,365 a	1,593 a
G.213	5,082 a	1,423 b	6,661	3,877 a	1,531 b
G.814	4,740 b	1,331 c	6,217	3,592 a	1,642 a
CV%	2,43	2,51	3,93	8,08	3,31

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si na coluna pelo Teste de *Scott-Knott* ($p < 0,05$). Guarapuava- PR, 2022. ns: Não significativo.

5.8. Enzimas Antioxidantes

As macieiras enxertadas sobre o porta-enxerto G.213, apresentaram maiores valor da atividade da enzima POD, quando comparadas aos demais porta-enxertos avaliados (Figura 13A). O porta-enxerto G.213 também apresentou maior atividade da enzima SOD em relação aos demais porta-enxertos que não diferenciaram entre si (Figura 13B).

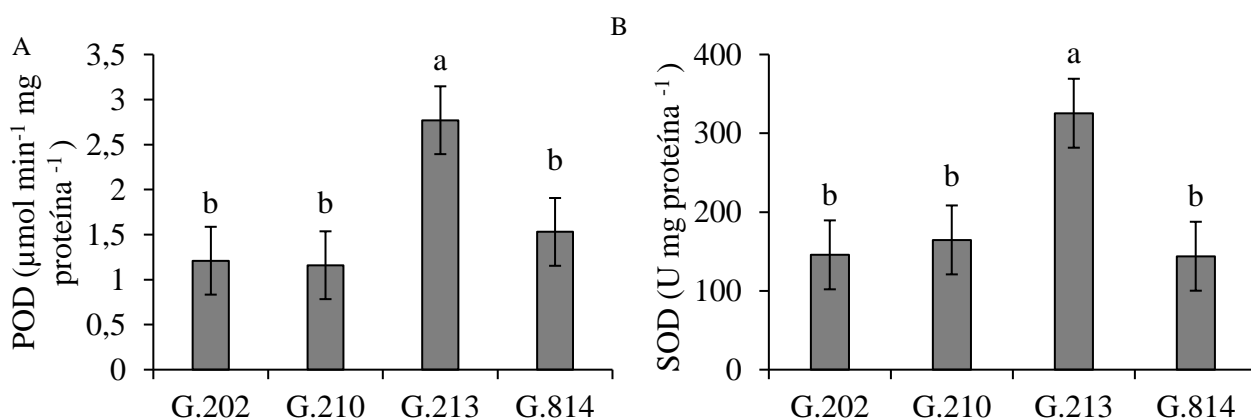


Figura 13- Atividade da enzima peroxidase (A) e superóxido dismutase (B) de macieiras cv. Fuji Suprema sobre diferentes porta-enxertos da Série Geneva®, Guarapuava– PR, 2022. *Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste de *Scott-Knott* ($p < 0,05$).

5.9. Potencial hídrico

Para a avaliação do potencial hídrico nas folhas, houve diferenças estatísticas entre as plantas com os diferentes porta-enxertos. Os maiores potenciais hídricos nas folhas, no horário avaliado, foram obtidos nas plantas enxertadas com o G.213 e G.814, enquanto que os menores potenciais hídricos, foram obtidos em plantas enxertadas com o G.202 e G.210 (Figura 14).

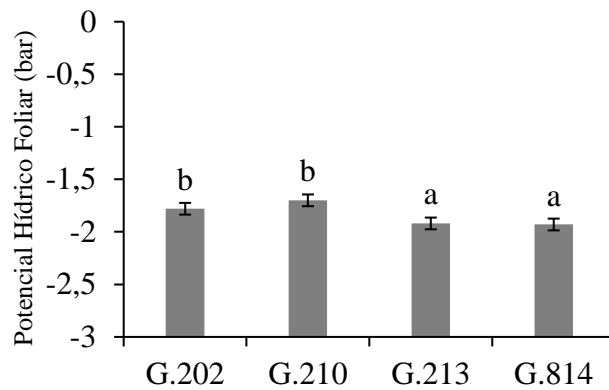


Figura 14- Potencial hídrico foliar (MPa) realizado no horário de 12:00 em macieiras cv. Fuji Suprema sobre diferentes porta-enxertos da Série Geneva®, Guarapuava– PR, 2022. *Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste de *Scott-Knott* ($p < 0,05$).

5.9. PCA para características bioquímicas

A análise dos componentes principais demonstrou que os dois primeiros componentes explicam 95,92% de variação dos dados (Figura 15). Os principais resultados da PCA mostraram que as macieiras enxertadas sobre o porta-enxerto G.213, apresentaram maior valor para fluorescência inicial, SOD, POD, clorofila *a*, clorofila totais e potencial hídrico. (2º quadrante). Em contraste, apresentaram menor valor para relação entre clorofila *a* e *b*, fluorescência máxima, fluorescência variada e carotenoides (1º quadrante). As macieiras enxertadas sobre o porta-enxertos apresentam maior teores de clorofila *b* (3º quadrante). Os porta-enxertos G.210 e G.814 foram agrupados por apresentarem maior valor para F_v/F_0 e F_v/F_m (4º quadrante).

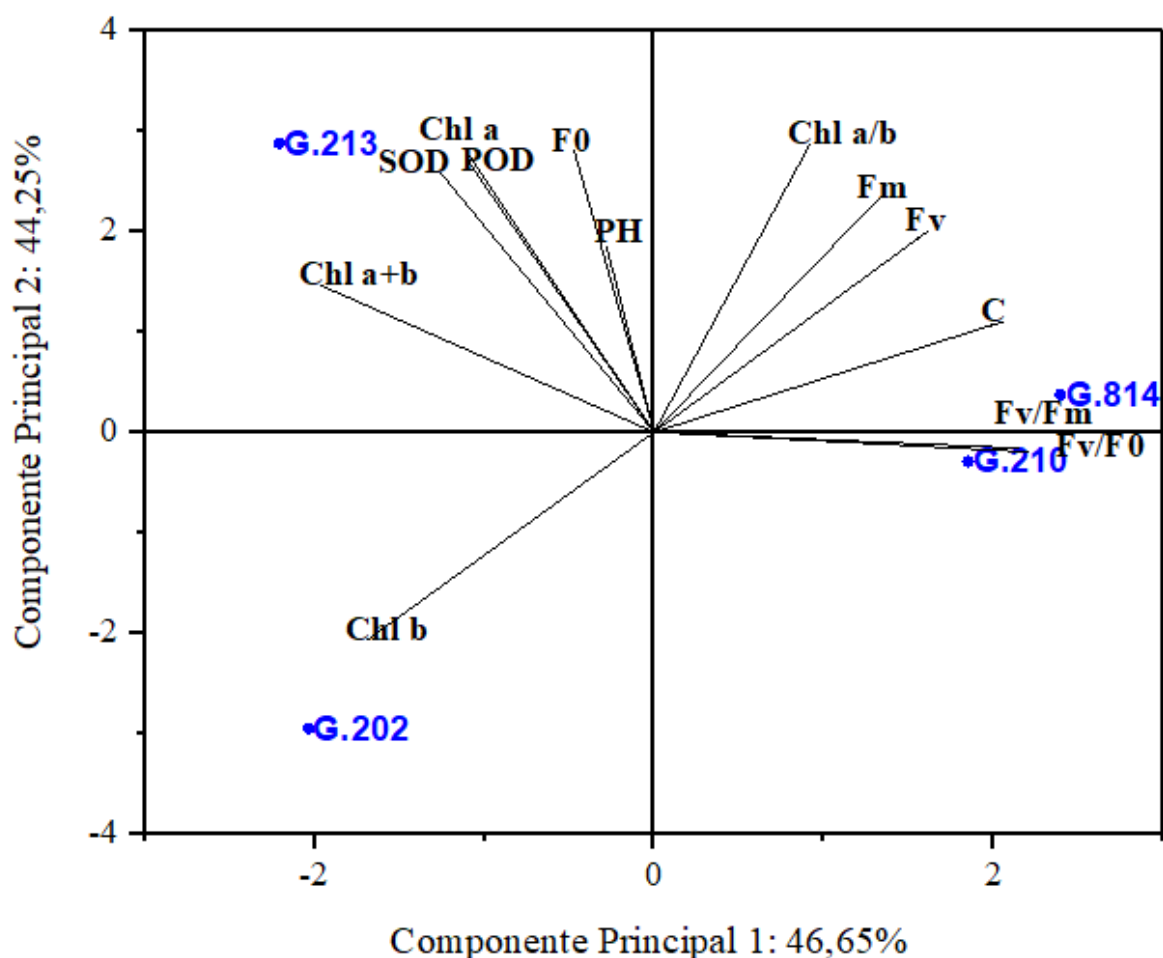


Figura 15. Análise dos componentes principais para características bioquímicas de macieiras cv. Fuji Suprema sobre diferentes porta-enxertos da Série Geneva®, Guarapuava– PR, 2022. Peroxidase (POD), superóxido dismutase (SOD), clorofilas a (chl a), clorofilas b (chl b), clorofilas totais (chl a+b), clorofilas b (chl b), relação entre clorofila a e b (chl a/b), carotenoides (C), fluorescência inicial (F_0), fluorescência máxima (F_m), fluorescência variada (F_v), rendimento quântico máximo do PSII (F_v/F_m) e atividade potencial do PSII (F_v/F_0).

5.10. Qualidade pós-colheita

Não houve diferença significativa entre os porta-enxertos para firmeza de polpa dos frutos. Para sólidos solúveis houve diferença entre os portas-enxertos, foi observado maior teor de sólidos solúveis em frutos das macieiras enxertadas com porta-enxerto G.210, quando comparado aos frutos de macieiras enxertadas com os demais porta-enxertos, em que não apresentam diferenças entre si (Figura 16A).

Observa-se na Figura 16 B que houve diferença significativa entre os porta-enxertos para acidez titulável, sendo que os frutos das macieiras enxertadas sobre o porta-enxerto G.213 apresentaram menor concentração de ácido málico, os frutos das macieiras enxertadas sobre o

G.814 apresentou teores mais elevados para essa variável.

Os frutos das macieiras enxertadas sobre o porta-enxerto G.213 apresentaram maior relação SS/AT, quando comparado aos frutos provenientes de macieiras enxertadas sobre os demais porta-enxertos e não diferenciaram entre si, (Figura 16C).

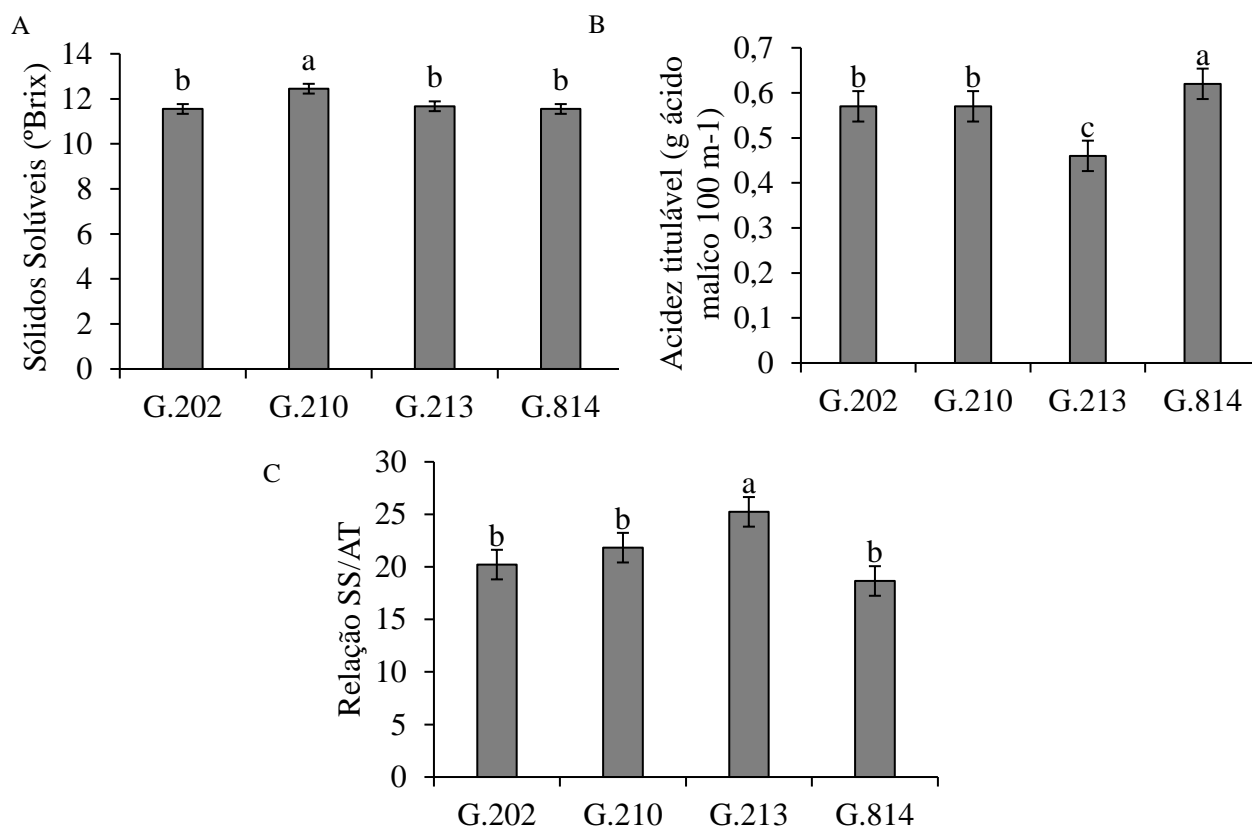


Figura 16- Sólidos solúveis (°Brix) (A), relação SS/AT (B) e acidez titulável (g ácido cítrico 100 mL⁻¹) (C) de maçãs cv. Fuji Suprema sobre diferentes porta-enxertos da Série Geneva®, Guarapuava– PR, 2022. *Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Para a variável luminosidade não houve influência dos porta-enxertos. Para ângulo hue, houve diferença significativa entre os frutos dos diferentes porta-enxertos. Os frutos do porta-enxerto G.213 e G.210 apresentaram valores superiores para essa variável quando comparados com os frutos do porta-enxerto G.202 e G.814, não diferença entre si (Figura 17 A).

Para a cromaticidade, houve diferença significativa entre os tratamentos. Os frutos oriundos de plantas enxertadas sob os porta-enxertos G.202 e G.213 apresentaram maiores valores de cromaticidade quando comparada com os frutos de plantas enxertadas com G.210 e G.814 (Figura 17 B). Esse parâmetro está ligado à concentração do elemento corante, maiores valores da cromaticidade representam a intensificação de cor devido ao amadurecimento dos frutos.

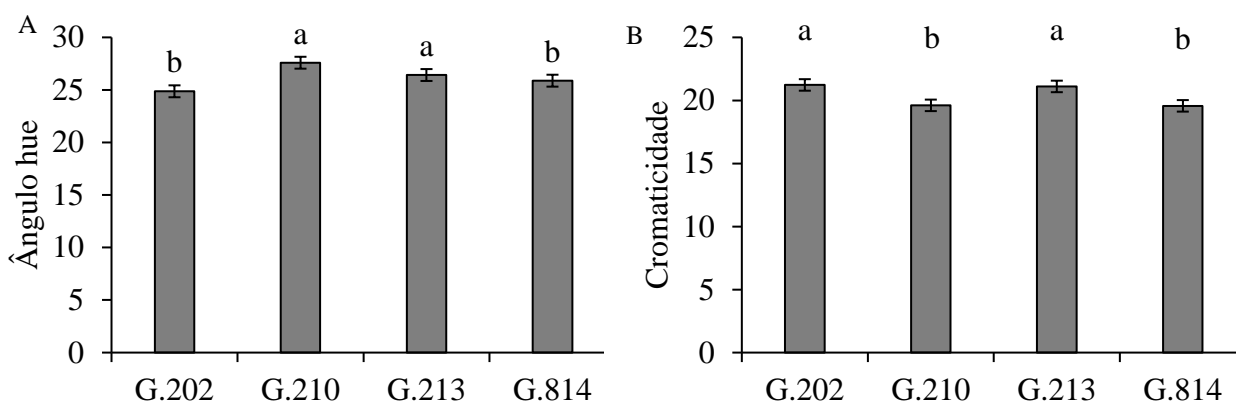


Figura 17- Ângulo hue (A) e cromaticidade (B) de maçãs cv. Fuji Suprema sobre diferentes porta-enxertos da Série Geneva®, Guarapuava– PR, 2022. *Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste de *Scott-Knott* ($p < 0,05$).

5.11. PCA para características pós colheita

A análise dos componentes principais demonstrou que os dois primeiros componentes explicam 83,70% da variabilidade dos dados (Figura 18). Os principais resultados da PCA mostraram que os frutos das macieiras enxertadas sobre o porta-enxerto G.210 apresentaram maior valores para sólidos solúveis, firmeza da polpa do fruto e ângulo hue (1º quadrante). Os frutos provenientes das macieiras enxertadas sobre o G.213 apresentaram maior relação entre sólidos solúvel e acidez titulável (2º quadrante). Os frutos das macieiras enxertadas sobre o G.814 apresentaram maior valor para acidez titulável e luminosidade da epiderme (4º quadrante).

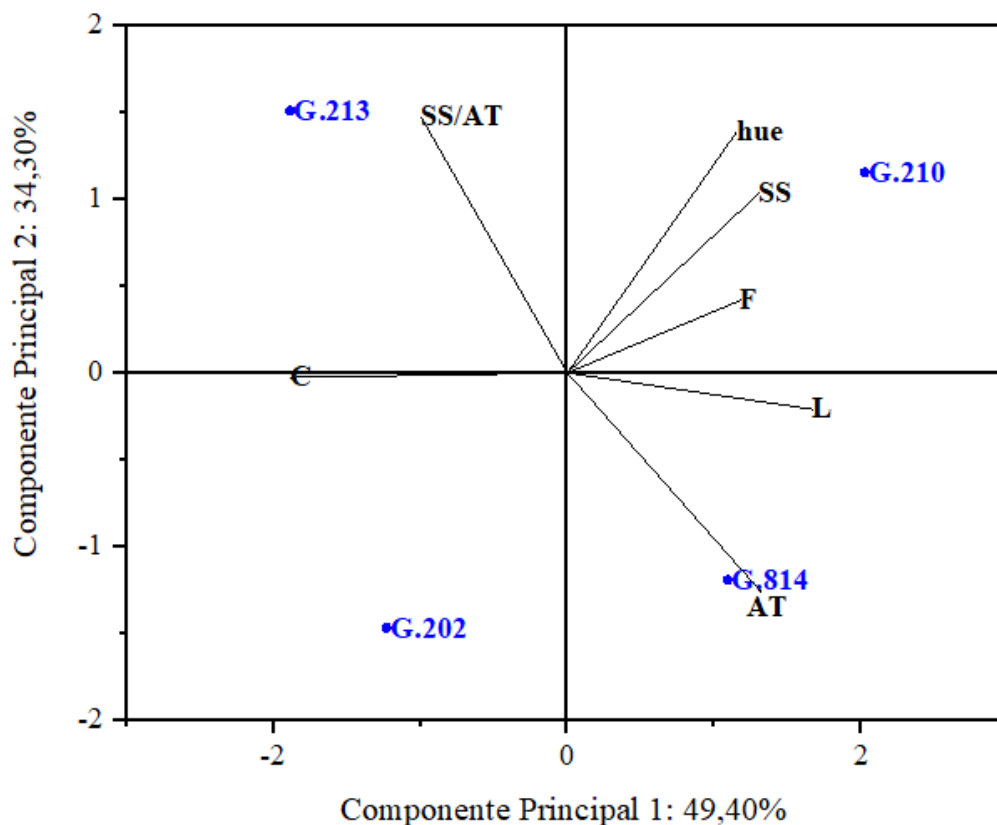


Figura 18. Análise dos componentes principais para características pós colheita dos frutos de macieiras cv. Fuji Suprema sobre diferentes porta-enxertos da Série Geneva®, Guarapuava-PR, 2022. Cromaticidade (C), firmeza da polpa do fruto (F), luminosidade (L), acidez titulável (AT), sólidos solúveis (SS), ângulo hue (hue) e relação sólidos solúveis e acidez titulável.

5.12. Teores de nutrientes

Para os teores de N, houve diferença significativa entre os porta-enxertos, plantas enxertadas sobre G.202 e G.210 apresentaram teores superiores e os porta-enxertos G.213 e G.814 apresentaram teores inferiores e não diferenciam entre si. Para o teor de K plantas enxertadas sobre o porta-enxerto G.814 apresentaram valores superiores. Para os teores de P, S e Mg plantas enxertadas sobre o porta-enxerto G.210 obtiveram resultados superiores aos demais porta-enxertos. Para os teores de Ca não houve diferença entre os porta-enxertos da série Geneva (Tabela 3).

Tabela 3 - Teores de macronutrientes em folhas de macieiras cv. Fuji Suprema sobre diferentes porta-enxertos.

Porta-enxertos	N	P	K	S	Ca	Mg
	g kg ⁻¹					
G.202	31,59 a	2,74 b	26,55 b	3,14 b	16,74 ns	10,30 b
G.210	29,98 a	3,49 a	24,17 c	6,24 a	16,59	11,10 a
G.213	24,41 b	2,20 c	23,36 c	2,56 b	14,91	8,75 d
G.814	24,77 b	2,12 c	29,05 a	1,90 b	16,26	9,50 c
CV (%)	10,30	12,15	3,06	19,74	7,62	2,75

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si na coluna pelo Teste de *Scott-Knott* ($\rho < 0,05$). Guarapuava- PR, 2022. ns: Não significativo.

Para os teores de Cu e Fe, não houve diferença significativa entre os porta-enxertos. Em relação aos teores de Mn plantas enxertadas sobre o porta-enxerto G.202 apresentaram teores superiores do micronutrientes se comparados aos demais porta-enxertos. Em relação aos teores de Zn plantas enxertadas sobre os porta-enxertos G.814, G.213 e G.210 apresentaram resultados superiores e não diferenciaram entre si. As plantas enxertadas sobre G.202 obtiveram teores inferiores para esse micronutriente (Tabela 4).

Tabela 4 - Teores de micronutrientes em folhas de macieiras cv. Fuji Suprema sobre diferentes porta-enxertos.

Porta-enxertos	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg kg ⁻¹			
G.202	8,8 ns	286 ns	237 a	38,3 b
G.210	8,25	273	128 b	66,7 a
G.213	8,65	283	125 b	74,4 a
G.814	8,15	269	130 b	59,4 a
CV (%)	13,49	11,44	8,02	16,67

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si na coluna pelo Teste de *Scott-Knott* ($\rho < 0,05$). Guarapuava- PR, 2022. ns: Não significativo.

6 DISCUSSÃO

6.3 Aspectos fisiológicos e produtivos

A necessidade de acúmulo de horas de frio é satisfeita quando 50 % das gemas brotaram, após um período de temperaturas elevadas (Chariani et al., 1994). Neste estudo verificou-se que as macieiras da cv. Fuji Suprema enxertada sobre o porta-enxerto G.202, atingiram valores superiores para gemas brotadas aos 14 DAD, sendo esse porta-enxerto foi mais eficiente em relação a brotação em comparação aos demais.

O resultado deste estudo não corrobora com Macedo (2018), pois em seu experimento observou menor porcentagem de brotação para macieiras enxertadas com o porta-enxerto G.202, quando comparado com ao G.213.

O tempo necessário para as macieiras atingirem 50% de floração foi influenciado pelo porta-enxertos. Sendo que o tempo para atingirem 50% do desenvolvimento da floração foi menor em macieiras enxertadas sobre o G.213 (14 dias), seguido do G.202 (21 dias), G.210 (21 dias) e finalmente para o porta-enxerto G,814 (28 dias).

Neste sentido podemos entender que as macieiras enxertadas sobre o porta-enxerto G.213 apresentam menor exigência em horas de frio para superação da dormência, podendo estar correlacionado com ao estresse hídrico comprovado pela análise enzimática. Não corroborando com Macedo (2018), pois não verificou diferença entre os porta-enxertos para o retorno de floração para macieiras cv. Maxi Gala.

Os porta-enxertos influenciam no número de flores formadas pela copa, bem como na capacidade destas flores se tornarem frutos (WEBSTER, 1995). A influenciados porta-enxertos anões, como o porta-enxerto G.213, na floração precoce em macieiras está relacionado com o crescimento da planta, sendo que melhor vigor melhor insolação nas gemas favorecendo sua diferenciação (SELEZNYOVA et al., 2007).

O número de frutos por planta, produtividade e massa média por fruto foi superior nas macieiras enxertadas sobre o porta-enxerto G.213. Características que podem estarem relacionadas com os resultados superiores de outros atributos avaliados no presente estudo, como nos teores dos pigmentos fotossintéticos, na porcentagem da floração e no menor vigor vegetativo.

Resultados corroboram aos obtidos por Macedo et al. (2021), em que observaram que as plantas sobre o porta-enxerto G.213 apresentam produtividade alta e estável, sendo 7,3% superior ao porta-enxerto M.9, apresenta ainda baixo vigor e alta qualidade dos frutos quando comparado ao M.9, indicando este porta-enxerto para sua região de seu estudo.

De acordo com Streit et al. (2005), os pigmentos envolvidos na fotossíntese são as clorofilas a e b e os carotenoides. Neste sentido maiores concentrações desses pigmentos, podem contribuir para um aumento da taxa fotossintética da planta e, por consequência resultar em produção mais elevada.

O porta-enxerto G.213, proporciona equilíbrio na relação vigor-productividade-eficiência, alcançando alta produção em plantas com menos vigor e consequentemente menor custos com manejos do pomar. Característica importante em pomares de altas densidades de plantas, pois se procura maior produtividade associado a baixo vigor vegetativo, com isso, reduzir o trabalho manual e o custo de produção (ROBINSON, 2011).

A alta produtividade e menor porte das macieiras é uma característica muito desejável, pois o aumento da produtividade por planta implica na possibilidade de aumentar a densidade dos pomares (PETRI et al., 2011).

Na região deste estudo houve longo período de desenvolvimento vegetativo quando comparado com as regiões com temperaturas mais baixas. Quando combinadas com altas temperaturas, promovem o crescimento excessivo das plantas, principalmente nos anos com baixa frutificação (HAWERROTH; PETRI, 2011). O crescimento vegetativo vigoroso e excessivo dos brotos afeta negativamente a produtividade, a qualidade do fruto e o controle fitossanitário (MAUGHAN; BLACK; ROPER, 2017).

Os porta-enxertos da série Geneva influenciaram a massa dos frutos no presente estudo, as macieiras com os porta-enxertos que obtiveram menor número de frutos apresentaram frutos com massa superiores. Por apresentarem menor número de frutos, os fotoassimilados foram concentrados nestes frutos.

No trabalho desenvolvido por Al-hinai, et al. (2004) em macieiras Gala e Pasa et al. (2016) em frutos de macieiras cultivares Imperial Gala e Mishima Fuji, observaram pouca influência do porta-enxerto sobre a massa de fruto, não correspondendo com os resultados encontrados neste estudo.

No entanto corrobora com Reig et al. (2018a), observaram que para a cv. Fuji enxertados o tamanho médio dos frutos foram maiores utilizando os porta-enxertos semi-vigorosos, e semi-anões, enquanto os porta-enxertos anões apresentaram os menores tamanhos de frutos sob condições climáticas do estado de Nova York.

Os porta-enxertos de macieira modificar o estado nutricional da copa (FAZIO et al., 2015a). As macieiras enxertadas com o G.202 e G.210 apresentaram valores superiores de N. O nitrogênio (N) está diretamente ligado ao crescimento da macieira, bem como no processo de diferenciação das gemas florais. Este nutriente também melhora a eficiência fotossintética,

consequentemente aumenta a produção de frutos (SHA et al., 2020; XU et al., 2020). No entanto, neste estudo as macieiras que apresentaram teores superiores de N, apresentaram vigor vegetativo e baixa diferenciação das gemas em florais, consequentemente baixa produção.

As macieiras enxertadas sobre o porta-enxertos G.210 e G.202, respectivamente foram os que apresentaram teores superiores de Mg. Este aumento pode ter influenciado nos valores superiores de concentração de clorofila b e carotenoides, assim como na ASTC e área foliar. O magnésio (Mg) é um nutriente de fundamental, pois está relacionado ao crescimento das plantas e em importantes processos bioquímicos e fisiológicos das plantas, como na síntese de clorofila, ácidos nucleicos, proteínas, bem como na formação e utilização de ATP (VERBRUGGEN, 2013 ; SHAUL, 2022).

6.4 Qualidade pós-colheita

Em relação aos parâmetros de qualidade dos frutos, a concentração de sólidos solúveis é uma característica importante da qualidade interna dos frutos, pois interfere na aceitação dos consumidores. Os compostos solúveis são os compostos solúveis em água presentes nos frutos, como os açúcares, aminoácidos, pectinas e vitaminas. No processo de amadurecimento dos frutos, há um aumento na concentração de açúcares, por consequência da degradação de carboidratos presente na reserva, como o amido (CHITARRA; CHITARRA, 2005). No presente estudo, foram verificadas diferenças nos teores de sólidos solúveis.

O porta-enxerto G.210 apresentou maior teor de sólidos solúveis totais provavelmente devido à produtividade baixa, com isso houve a concentração dos compostos solúveis nos frutos. Resultado corroboram com Rufato et al.(2021), em caracterizaram os frutos de macieiras enxertadas com o porta-enxerto G.210 com maior teor de sólidos solúveis para cultivar Gala Select.

A relação Sólidos solúveis e a acidez titulável (SS/AT) é um parâmetro que indica o grau de equilíbrio entre açúcares e os ácidos orgânicos do fruto. Essa relação é uma importante característica organoléptica, pois interferir na percepção de sabor pelo consumidor (SILVA et al., 2011).

O aumento na relação SS/AT está relacionado a melhoria do sabor das frutas, sendo um índice mais representativo em relação a características organolépticas, do que apenas a avaliação dos sólidos solúveis ou da acidez (CHITARRA; CHITARRA, 2005). O porta-enxerto G.213 obteve maior relação SS/AT, em virtude de apresentar menor concentração de ácidos nos frutos, indicando que macieiras enxertadas com este porta-enxerto apresentam frutos de sabor mais

doce e baixa acidez.

Para região deste estudo e para características pós colheita, o porta-enxerto G.213 apresentou melhores características. Sendo que a região, cultivar e porta-enxerto pode influenciar nestes parâmetros. Em estudo sobre o efeito da cultivar, porta-enxerto e condições da região na qualidade pós-colheita dos frutos Yuri et al. (2019), concluir que as diferenças climáticas dentre as localizações acabam por definir o desempenho das cultivares de macieiras, afetando a qualidade dos frutos pós-colheita.

A firmeza da polpa está relacionada à qualidade dos frutos, podendo ser utilizada para decidir o momento ideal de colheita, bem como, ser usada em conjunto com outros parâmetros para determinar o estágio de maturidade (HARKER et al., 1996). No presente estudo, os porta-enxertos não influenciaram na firmeza da polpa dos frutos.

A coloração da epiderme dos frutos é um atributo de importância para indicar a qualidade pós-colheita. A cromaticidade se refere à saturação da coloração, estando diretamente relacionada à concentração do elemento corante na epiderme do fruto. A luminosidade é o índice do brilho dos frutos, sendo o valor de 0 para preto e 100 para branco, deste modo, altos valores representam cores mais clara e o oposto indica cores mais escuras (FERREIRA, 2011).

Houve diferenças entre os porta-enxertos para cromaticidade e luminosidade da epiderme dos frutos. Sendo que o porta-enxerto G.213 promoveu frutos com maior cromaticidade, maior teores de pigmentos, logo mais desenvolvimento da coloração. Deste modo o porta-enxerto G.213 promoveu a melhoria na qualidade pós-colheita dos frutos, pois os frutos apresentaram luminosidade menor, cromaticidade mais elevada e baixa concentração de ácidos, podendo estar relacionado com maior insolação devido ao menor crescimento vegetativo.

Hargarten et al. (2022) não verificaram influência do porta-enxertos para o desenvolvimento da cor da epiderme dos frutos de macieiras cultivar Gala. De acordo com os autores, independentemente do genótipo do porta-enxerto todos os frutos apresentaram coloração da epiderme semelhantes na pós-colheita, resultados observados em dois anos de estudo.

No presente trabalho os frutos não apresentaram diferença na firmeza da polpa do fruto, esse atributo está diretamente ligado aos teores de cálcio. Sendo que as macieiras enxertadas com os diferentes porta-enxertos não apresentaram diferença significativa para esse nutriente.

O cálcio é importante nutriente em vários processos fisiológicos das plantas, como para resistência da parede celular, função da membrana e na atividade enzimática. Esse nutriente está relacionado também no retardamento do amadurecimento e senescência (SHIRI, 2015). Khakpour et al. (2022), aplicaram nitrato de cálcio e quelato de ferro em macieiras cv.

Red Delicious, como resultado obtiveram melhora nas características pós-colheita e no aumento da produtividade de frutos de maçã.

6.5 Aspectos bioquímicos

A formação de espécies reativas de oxigênio (ERO) nas plantas acontece naturalmente no metabolismo celular da planta e o acúmulo desses radicais pode causar danos oxidativos afetando a membrana plasmática, causando a perda da sua seletividade e função, conseqüentemente sua morte (ESPINOSA-DIEZ et al., 2015). Uma das formas da formação dos EROS é quando as processo fotossintético não consomem o excesso de energia luminosa a tempo, com isso, os elétrons excitados são transferidos para O₂ para gerar oxigênio singleto e ânion superóxido de radical livre (O₂⁻) (Mignolet-Spruyt et al. 2016).

O aumento da atividade das enzimas antioxidantes POD e SOD, está relacionado ao estresse, sendo essas enzimas pertencendo na rota metabólica de defesa de EROS. Essas enzimas são responsáveis por transformar o radical livre superóxido, altamente danoso aos tecidos vegetais, em oxigênio molecular e peróxido de hidrogênio (GILL et al., 2015). Esse estresse encontrado nas macieiras utilizando o porta-enxerto 2013 pode estar relacionado a deficiência hídrica, demonstrado pela avaliação do potencial hídrico. Sendo que planta apresentando deficiência de água leva a geração de Espécies Reativas de Oxigênio (ROS) (KUMAR et al., 2012).

As atividades da PODe SOD foram menores nas folhas das macieiras enxertadas sobre os porta-enxertos G.202, G.210 e G.814. Esses resultados sugerem que as macieiras enxertadas com esses porta-enxertos não estavam respondendo adequadamente às condições de estresse, pois também apresentaram produção inferior e concentrações menores de clorofila *a* quando comparadas as macieiras enxertadas com o G.213.

Segundo Dias et al. (2018), diminuição na concentração dos pigmentos fotossintéticos em folhas maduras, pode ser entendido como uma resposta típica ao estresse oxidativo, ou então em condições de deficiência de nutrientes. Essa situação pode ser explicada pela fotooxidação dos pigmentos e da degradação das clorofilas. Neste estudo, os teores da clorofila *a* e *b* foram significativamente menores nas folhas do porta-enxerto G.814, o que refletiu na produtividade inferior se comparados aos demais.

As macieiras enxertadas com o G.213, apresentaram maior atividade das enzimas antioxidantes, este resultado sugere que este porta-enxerto influenciou no aumento da indução de resistência das plantas. Pois as macieiras enxertadas com o G.213 apresentaram boas

características bioquímicas, de produtividade e pós-colheita dos frutos.

A análise de fluorescência de clorofila consiste do princípio que a energia luminosa absorvida pelas clorofilas das folhas podem seguir três caminhos. O primeiro é essa energia luminosa será usada na fotossíntese (conversão fotoquímica da energia). No segundo o excesso de energia pode ser dissipado como calor e na terceira via a energia é emitida novamente como luz, sendo essa a fluorescência da clorofila *a*, (MAXWELL; JOHNSON, 2000).

De acordo com Schansker et al. (2014), a curva de OJIP demonstra a quantidade necessária de energia luminosa necessária para fechar todos os centros de reação do fotossistema II. Quando os centros de reações do fotossistema II estiverem fechados, ocorre uma maior dissipação da energia por vias não fotoquímicas, ou seja, perda de energia. Deste modo, as plantas enxertadas sobre os porta-enxertos G.210, G.213 e G.814 necessitaram de mais energia respectivamente para que ocorra o fechamento dos centros do fotossistema II.

Fluorescência inicial (F_0) é o momento no qual todos os centros de reação do fotossistema II (PSII) estão abertos, com capacidade total de receber elétrons, indicando a capacidade fotossintética dos centros de reação (MAXWELL; JOHNSON, 2000). Deste modo, o porta-enxerto influenciou na fluorescência inicial, pois as plantas enxertadas com o G.213 estavam com a capacidade fotossintética dos centros de reação mais elevada.

A fluorescência máxima (F_m) acontece após o pulso de luz no centro de reação plastoquinona (Q_A), deste modo indica a completa redução da Q_A (MAXWELL; JOHNSON, 2000). As macieiras enxertadas com o porta-enxertos G.213 e G.814 apresentam maiores valores da fluorescência da clorofila *a*, demonstrando que estão perdendo mais energia pelo processo não fotoquímico.

De acordo com a literatura plantas saudáveis apresentam valores da relação F_v/F_m entre 0,75 e 0,85. (BOLHÀR-NORDENKAMPF et al., 1989). Neste estudo não houve diferença significativa, entre as macieiras enxertadas sobre os diferentes porta-enxertos para esse parâmetro. No entanto, os valores encontrados estão de acordo com o estipulado para plantas saudáveis, G.202 (0,75), G.210 (0,76), G.213 (0,75) e G,814 (0,76).

O menor valor de F_v/F_m foram observados nas macieiras enxertadas sobre o porta-enxertos G.202 e G.2013. Essa diminuição dos valores da relação F_v/F_m pode estar relacionada com algum tipo estresse biótico ou abióticos. De acordo com Baker et al. (2004), os menores valores da relação F_v/F_m também podem estarem relacionados com a redução da fração dos centros de reação do PSII, promovendo a diminuição nas reações fotoquímicas, deste modo aumentando a dissipação não fotoquímica.

As folhas das macieiras sobre os porta-enxertos G.213 e G.814, foram as que

apresentaram maior potencial hídrico foliar em relação aos demais porta-enxertos, demonstrando que as macieiras enxertadas com estes porta-enxertos estavam em maior estresse hídrico. Sendo o potencial hídrico foliar um dos principais indicadores do estado hídrico da planta, especialmente em condições de déficit hídrico (LI et al.,2022).

A ligação entre a cultivar copa e porta-enxerto possui papel importante neste processo, influencia na absorção e transporte de água, nutrientes e crescimento. Déficit de água compromete os processos bioquímicos e fisiológicos, podendo causar distúrbios. Sendo possível mensurar as relações hídrica da planta, deste modo, entender a influência do porta-enxerto no transporte de água para a parte aérea (MARTÍNEZ-BALLESTA et al., 2010; ALONI, B. et al, 2010).

De acordo com os dados deste estudo, o porta-enxerto que melhor se adaptou e foi mais produtivo foi o G.213. Segundo Li et al. (2022), a seleção da combinação variedades das copas com o porta-enxertos adequada, favorece o aumento da produtividade de árvores frutíferas, com isso, melhorando o retorno econômico, beneficiando os agricultores.

7 CONCLUSÕES

As macieiras cv. Fuji Suprema enxertadas sobre o porta-enxerto G.213 anteciparam a floração. Em relação a brotação as plantas enxertadas sobre o porta-enxerto G.202 apresentaram antecipação e com porcentagem mais elevada de brotação.

O porta-enxerto G.213 é um porta-enxerto com vigor reduzido, deste modo é indicado para pomares de alta densidade de plantio.

Os porta-enxertos G.210 e G.814 são mais vigorosos, sendo indicados em pomares com menores adensamentos.

O porta-enxerto G.213 é mais produtivo e melhora a qualidade dos frutos na região de estudo deste trabalho

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-HINAI, Y.K.; ROPER, T.R. Rootstock effects on growth and quality of ‘Gala’ apples. **HortScience**, v.39, p.1231-1233, 2004.

ALONI, B. et al. Hormonal signaling in rootstock–scion interactions. **Scientia Horticulturae**, v. 127, n. 2, p. 119–126, 2010.

ALONI, B. et al Possible mechanisms for graft incompatibility between melon scions and pumpkin rootstocks. **Acta Horticulturae**, v. 782,p. 313–323, 2008.

ANZANELLO,R; BIASI, L. A. Base temperature as a function of genotype: a foundation for modeling phenology of temperate fruit species. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 4, p. 1811–1826, 2016.

ARÉVALO-H, J. J.; VÉLEZ, J. E.; CAMACHO-TAMAYO, J. H. Uso eficiente del agua para el cultivo de rosa cv. Freedom bajo invernadero. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 8, p. 811–817, 2013.

ASHCROFT, G. L; RICHARDSON, E. A; SEELEY, S. D. A statistical method of determining chill unit and growing degree hour requirements for deciduous fruit trees. **HortScience**, v. 12, n. 2, p. 347–349, 1977.

BAKER, N. R. Chlorophyll Fluorescence: A Probe of Photosynthesis In Vivo. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, n. 1, p. 89–113, 2008.

BAKER, N. R. et al. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**,v. 55, , p. 1607-1621, 2004.

BALBI-PEÑA, M. I.; SCHWAN-ESTRADA, K. R. F.; STANGARLIN, J. R. Oxidative burst and the activity of defense-related enzymes in compatible and incompatible tomato-*Alternaria solani* interactions. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 5, p. 2399, 5 nov. 2014.

BARBOSA, W. et al. Advances in low chilling peach breeding at Instituto Agrônômico, São Paulo, Brasil. **Acta Horticulturae**, n. 872, p. 147–150, 2010.

BJÖRKMAN, O., E DEMMIG-ADAMS, B. Regulação da captura, conversão e dissipação de energia luminosa fotossintética nas folhas de plantas superiores, **Ecophysiology of Photosynthesis**, p. 17–47, 1995

BOLHÀR-NORDENKAMPF, H. R. et al. Chlorophyll fluorescence as probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrument. **Functional Ecology**, v.3, p.497-514, 1989.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, n. 1–

2, p. 248–254, maio 1976

BRESTIC, M.; ZIVCAK, M. PSII Fluorescence Techniques for Measurement of Drought and High Temperature Stress Signal in Crop Plants: Protocols and Applications. In: ROUT, G. R.; DAS, A. B. (Eds.). **Molecular Stress Physiology of Plants**. India: Springer India, 2013. p. 87–131.

CANAS, S. et al. Phenolic Compounds Involved in Grafting Incompatibility of *Vitis* spp: Development and Validation of an Analytical Method for their Quantification: Phenolic Compounds Quantification in *Vitis* Grafting Tissues. **Phytochemical Analysis**, v. 26, n. 1, p. 1–7, 2015.

CARVALHO, R. I. N. DE; ZANETTE, F. Dinâmica da dormência de gemas de macieira “Imperial Gala” durante o outono e inverno em região de baixa ocorrência de frio. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 1, p. 65–68, 2004a.

CARVALHO, R. I. N. DE; ZANETTE, F. Conteúdo de carboidratos em gemas e ramos de macieira durante o outono e inverno em região de baixa ocorrência de frio. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 2, p. 202–205, 2004b.

CHARIANI, K. et al. Chilling requirements of Apples and Pear cultivars. **Fruit Varieties Journal**, v.48, p.215-222, 1994.

CHEN, B. et al. Effect of bagging and time of harvest on fruit quality of “Red Fuji” apple in high altitude area in China. **Fruits**, v. 72, n. 1, p. 36–46, 2017.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. MG: UFLA: Universidade Federal de Lavras, 2005, p.783.

CIOBOTARI, G. et al. Graft Incompatibility Influence on Assimilating Pigments and Soluble Sugars Amount of some Pear (*Pyrus sativa*) Cultivars. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 38, n. 2, p. 187–192, 2010.

CUMMINS, J.; ALDWINCKLE, H.; ROBINSON, T. **Apple tree rootstock named 'G.202**, 2006. Disponível em: <<https://patentimages.storage.googleapis.com/7e/bc/25/92916e423ab637/US20060130195P1.pdf>>. Acesso em: 17 jun. 2021

DAS, K.; ROYCHOUDHURY, A. Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants. **Frontiers in Environmental Science**, v. 2, n. 53, p. 1–13, 2014.

DENARDI, F. et al. Efeito de porta-enxertos na indução da brotação da copa das macieiras ‘Gala’ e ‘Fuji’. **Revista Agropecuária catarinense**, v. 26, n. 2, p. 61–63, 2013.

DENARDI, F. et al. Performance of new apple rootstocks for Gala variety in Southern Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 16, n. 2, p. 147–152, 2016.

DENARDI, F.; KVITSCHAL, M. V. Porta-enxertos de macieira: passado, presente e futuro. **Agropecu. catarin.**, v. 28, n. 2, p. 89–95, 2015.

DENARDI, F.; SPENGLER, M. M. Comportamento da cultivar de macieira Fuji (*Malus domestica*, Borkh.) sobre três diferentes porta-enxertos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 23, n. 3, p. 630–633, 2001.

DIAS, M. C. et al. Chlorophyll fluorescence and oxidative stress endpoints to discriminate olive cultivars tolerance to drought and heat episodes. **Scientia Horticulturae**, v. 231, p. 31-35, 2018.

DÍAZ-ABRIL, D. M.; VÉLEZ-SÁNCHEZ, J. E.; RODRÍGUEZ, P. Irrigation reduction resistance mechanisms in the rapid fruit growth stage of pears (*Pyrus communis* L.). **Agronomía Colombiana**, v. 34, n. 1, p. 25–32, 2016.

EBERT, A. et al. First experiences with chill-unit models in southern Brazil. **Acta Horticulturae**, v. 8, n. 184, p. 79–86, 1986.

ENDO, T. et al. Suppression of quantum yield of photosystem II by hyperosmotic stress in *Chlamydomonas reinhardtii*. **Plant Cell Physiol.** v.36, p.1253–1258, 1995.

EREZ, A. Bud Dormancy; Phenomenon, Problems and Solutions in the Tropics and Subtropics. In: EREZ, A. (Ed.). **Temperate Fruit Crops in Warm Climates**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2000. p. 17–48.

EREZ, A.; COUVILLON, G. A.; HENDERSHOTT, C. H. The effect of cycle length on chilling negation by high temperatures in dormant peach leaf buds. **Journal American Society for Horticultural Science**, v. 104, p. 573–576, 1979.

EREZ, A.; LAVEE, S. effect of climatic conditions on dormancy development of peach buds. I. Temperature. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 96, p. 711–714, 1971.

ESPINOSA-DIEZ, C.; MIGUEL, V.; MENNERICH, D.; KIETZMANN, T.; SÁNCHEZPÉREZ, P.; CADENAS, S.; LAMAS, S. Antioxidant Responses and Cellular Adjustments to Oxidative Stress. **Redox Biology**, v. 6, p. 183–197, 2015.

FACHINELLO, J. C. et al. Situação e perspectivas da fruticultura de clima temperado no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. spe1, p. 109–120, 2011.

FAOSTAT. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 10 jun. 2021.

FAZIO, G. et al., Apple rootstocks influence mineral nutrient concentration of leaves and fruit. **New York Fruit Quarterly**, v.25, p. 11-15, 2015a.

FAZIO, G. et al. **Apple tree named “G.814” - Cornell University** Cornell University (Ithaca, NY, US), 2015. Disponível em: <https://www.freepatentsonline.com/y2015/0342101.html#google_vignette>. Acesso em: 17 jun. 2020

FAZIO, G. et al. **Apple tree rootstock “G.213”** Cornell University (Ithaca, NY, US), 2017. Disponível em: <<https://www.freepatentsonline.com/20170094854.pdf>>. Acesso em: 22 jun.

2021.

FELIPINI, R. B.; DI PIERO, R. M. Redução da severidade da podridão-amarga de maçã em pós-colheita pela imersão de frutos em quitosana. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 12, p. 1591–1597, dez. 2009.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109–112, 2014.

FERREIRA, M. D. **Tecnologias pós-colheita em Frutas e Hortaliças**. 1. ed. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2011.

FIORAVANÇO, F. et al. **Cultura da macieira no Rio Grande do Sul: análise situacional e descrição varietal**. Bento Gonçalves, RS: Embrapa Uva e Vinho, 2010.

FIORAVANÇO, J. C. **O produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

GAINZA, F.; OPAZO, I.; MUÑOZ, C. Graft incompatibility in plants: Metabolic changes during formation and establishment of the rootstock/scion union with emphasis on *Prunus* species. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 75, p. 28–34, 2015.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide Dismutases: I. Occurrence in Higher Plants. **Plant Physiology**, v. 59, n. 2, p. 309–314, 1 fev. 1977.

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

GILL, S. S.; ANJUM, N. A.; GILL, R.; YADAV, S.; HASANUZZAMAN, M.; FUJITA, M.; MISHRA, P.; SABAT, S. C.; TUTEJA, N. Superoxide Dismutase—Mentor of Abiotic Stress Tolerance in Crop Plants. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 14, p. 10375–10394, jul. 2015.

HARGARTEN, H; MATTHEIS, J.; HONAAS, L. Monitoring Effects of Rootstock Genotype and Soil Treatment Strategy on Postharvest Fruit Quality in ‘Gala’ Apple. **HortScience**, v. 57, n. 7, 2022.

HARKER, F.R.; MAINDONALD, J.H.; JACKSON, P.J. Penetrometer measurement of apple and kiwifruit firmness: operator and instrument differences **Scientia Horticulturae**. V. 121, n.5, 1996, p. 927-936.

HAVAUX, M. et al. Uma análise teórica e experimental dos coeficientes qP e qN de extinção da fluorescência da clorofila e sua relação com eventos fotoquímicos e não fotoquímicos. **Photosynthesis Research**. v. 27, 41–55, 1991.

HAWERROTH, F. J.; PETRI, J. L. **Controle do Desenvolvimento Vegetativo em Macieira e Pereira**. Fortaleza, CE: Embrapa, 2011.

IBGE. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil>>. Acesso em: 15 jun. 2021.

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.
- IUCHI, V. L. Botânica e fisiologia. In: EMRPESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Ed.). **A cultura da macieira**. Florianópolis: EPAGRI, 2006. p. 104.
- JACKSON, J. E. Light Regimes in Temperate Fruit-Tree Orchards Grown at Low Latitudes. In: EREZ, A. (Ed.). . **Temperate Fruit Crops in Warm Climates**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2000. p. 1–15.
- KHAKPOUR, S. et al. The effect of pre-harvest treatment of calcium nitrate and iron chelate on post-harvest quality of apple (*Malus domestica* Borkh cv. Red Delicious), **Scientia Horticulturae**, v.304, p. 111351, 2022.
- KOEPPEN, W. **Climatologia : con un estudio de los climas de la tierra**. México, DF: Fondo de Cultura Economica, 1948.
- KUMAR et al. Environmental stress influencing plant development and flowering. **Frontiers in Bioscience**, v. 4, n. 4, p. 1315-1324, 2012.
- KVITSCHAL, M. V. et al. Identificação de polinizadoras para a cultivar de macieira Daiane. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 1, p. 9–14, 2013.
- LAGE-PINTO, F. et al. Chlorophyll a fluorescence and ultrastructural changes in chloroplast of water hyacinth as indicators of environmental stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 64, n. 3, p. 307–313, 2008.
- LANG, G. A. et al. Endo-, para-, and ecodormancy: physiological terminology and classification for dormancy research. **HortScience**, v. 22, p. 371–377, 1987.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: APGIQ, 2000.
- LEE, J.-M. et al. Current status of vegetable grafting: Diffusion, grafting techniques, automation. **Scientia Horticulturae**, v. 127, n. 2, p. 93–105, 2010.
- LEPSIS, J. et al. Evaluation of Pear Rootstocks for the Cultivar ‘Suvenirs’ in the Baltic Region. **Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia**, v. 67, n. 2, p. 145–150, 2013.
- LICHTENTHALER, H. K.; WELLBURN, A. R. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. **Biochemical Society Transactions**, v. 11, n. 5, p. 591–592, 1983.
- LI, G. et al. The nutrient, hormone, and antioxidant status of scion affects the rootstock activity in apple. **Scientia Horticulturae**, v. 302, p. 111157, 2022.
- LIMA, A. L. DA S.; ZANELLA, F.; CASTRO, L. D. M. DE. Crescimento de *Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee et Lang. e *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Leguminosae) sob diferentes níveis de sombreamento. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 1, p. 43–48, 2010.

MACEDO, T.A. Tese: **Validação de porta-enxertos de macieira da Série CG nas condições de Vacaria, RS.** UDESC. Lages-SC, fev. 2018, 131p

MACEDO, T.A.; SILVA, P. S.; SANDER, G. F.; ROSSI, A.; KRETZSCHMAR, A.A.; PETRY, D.; RUFATO, L. G.213 rootstock – Alternative to apple tree cultivation in different planting areas in southern Brazil. **Scientia Horticulturae**, v. 286, n.25, 2021.

MACHADO, B. D. et al. GRAFT COMPATIBILITY BETWEEN EUROPEAN PEAR CULTIVARS AND EAST MALLING “C” ROOTSTOCK. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 39, n. 3, 2017.

MARTÍNEZ-BALLESTA, M. C. et al. Physiological aspects of rootstock–scion interactions. **Scientia Horticulturae**, v. 127, n. 2, p. 112–118, 2010.

MAUGHAN, T.; BLACK, B.; ROPER, T. **Training and Pruning Apple Trees.** Utah: Horticulture, Utah State University, 2017.

MAXWELL, K.; JOHNSON, N. Chlorophyll Fluorescence – A Pratical Guide. **Journal of Experimental Botany**. V. 354, p. 659-668, 2000.

MELNYK, C. W.; MEYEROWITZ, E. M. Plant grafting. **Current Biology**, v. 25, n. 5, p. 183–188, 2015.

MEYER, S.; GENTY, B. Heterogeneous inhibition of photosynthesis over the leaf surface of *Rosa rubiginosa* L. during water stress and abscisic acid treatment: induction of a metabolic component by limitation of CO₂ diffusion. **Planta**, v. 210,p. 126–131, 1999.

MIGNOLET-SPRUYT, L.; XU, E.J.; IDANHEIMO, N.; HOEBERICHTS, F.A.; MUHLENBOCK, P.; BROSCHE, M.; VAN BREUSEGEM, F.; KANGASJARVI, J. Spreading the news: subcellular and organellar reactive oxygen species production and signalling. **Journal of Experimental Botany**, v. 67, p. 3831–384, 2016.

MIRANDA, C. S. et al. Reciprocal grafting and IBA factors induction on rooting of woody cutting: peachtreeOkinawaandjapaneseapricot tree rootstocks. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 4, p. 778-784, 2004

OLIVEIRA, I. V. D. M.; LOPES, P. R. C.; SILVA-MATOS, R. R. S. D. Phenological characterization of pear trees (*Pyrus communis* L.) ‘Princesinha’ under semiarid conditions in the northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 39, n. 3, p. 1–6, 2017.

OLSEN, J. E. Mechanisms of dormancy regulation. **Acta Horticulturae**, n. 727, p. 157–166, 2006.

PASA, M. DA S. et al. Hábito de frutificação e produção de pereiras sobre diferentes porta-enxertos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 9, p. 998–1005, 2011.

PASA, M. DA S. et al. Desenvolvimento, produtividade e qualidade de peras sobre porta-enxertos de marmeleiro e *Pyrus calleryana*. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 3, p. 873–880, 2012.

PASA, M.S.; KATSURAYAMA, J.M.; BRIGHENTI, A.F.; ARAÚJO FILHO, J.V.; BONETI, J.I.S. Desempenho de macieiras ‘Imperial Gala’ e ‘Mishima Fuji’ em diferentes porta-enxertos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, p.17-26, 2016.

PATHAK, H., DHAWAN, V. Influence of different carbohydrate sources on in vitro shoot proliferation of apple (*Malus x domestica* Borkh.) Rootstocks M 7 and MM 111. **Acta Horticulturae**. v. 961, p.311–317, 2012.

PEIXOTO, P. Aluminum effects on lipid peroxidation and on the activities of enzymes of oxidative metabolism in sorghum. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 11, p. 137–143, 1 jan. 1999.

PETRI, J. L. et al. Avanços na cultura da macieira no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. spe1, p. 48–56, 2011.

PETRI, J. L.; HAWERROTH, F. J.; LEITE, G. B. Fenologia de espécies silvestres de macieira como polinizadora das cultivares gala e fuji. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 4, p. 868–874, 2008.

PETRI, J. L.; LEITE, G. B. Macieira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 4, 2008.

PIO, R. **Cultivo de Fruteiras de Clima Temperado em Regiões Subtropicais e Tropicais**. Lavras: UFLA, 2018.

PORRA, R. J.; THOMPSON, W. A.; KRIEDEMANN, P. E. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics**, v. 975, n. 3, p. 384–394, 1989.

PUDWELL, C. A. M. et al. **Cadeia produtiva da maçã: produção, armazenagem, comercialização, industrialização e financiamentos do BRDE na região sul do Brasil**. Porto Alegre: BRDE, 2005.

PUTTI, G. L. et al. Necessidades térmicas para indução da brotação de diferentes cultivares de macieira. **Agropecuária Catarinense**, v. 19, n. 2, p. 71–74, 2006.

PUTTI, G. L.; PETRI, J. L.; MENDEZ, M. E. Temperaturas efetivas para a dormência da macieira(*Malus domestica* Borkh). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 2, p. 210–212, 2003a.

PUTTI, G. L.; PETRI, J. L.; MENDEZ, M. E. Efeito da intensidade do frio no tempo e percentagem de gemas brotadas em macieira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 2, p. 199–202, 2003b.

REIG, G. et al. Anatomical graft compatibility study between apricot cultivars and different plum based rootstocks. **Scientia Horticulturae**, v. 237, p. 67–73, 2018a.

REIG, G. et al. Horticultural performance and elemental nutrient concentrations on ‘Fuji’ grafted on apple rootstocks under New York State climatic conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 227, p. 22–37, 2018b.

- ROBINSON, T. Advances in apple culture worldwide. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. spe1, p. 37–47, 2011.
- ROETZER, T. et al. Phenology in central Europe - differences and trends of spring phenophases in urban and rural areas. **International Journal of Biometeorology**, v. 44, n. 2, p. 60–66, 2000.
- ROUSSEAU, C. et al. High throughput quantitative phenotyping of plant resistance using chlorophyll fluorescence image analysis. **Plant Methods**, v. 9, n. 1, p. 17, 2013.
- RUFATO, L.; KRETZSCHMAR, A. A.; BOGO, A. **A cultura da pereira**. Florianópolis: DIOESC, 2012.
- RUFATO, L.; SILVA, P.S.; KRETZSCHMAR, A. A.; BOGO, A.; MACEDO, T. A.; WELTER, J.F.; FAZIO, G.; PETRY, D. Series Rootstocks for Apple Trees Under Extreme Replanting Conditions in Southern Brazil. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, 2021.
- RUIZ, D.; CAMPOY, J.; EGEA, J. Chilling and heat requirements of apricot cultivars for flowering. **Environmental and Experimental Botany**, v. 61, n. 3, p. 254–263, 2007.
- SALAYA, G. F. G. **Fruticultura:La producción de fruta: Frutas de clima templado y subtropical**. Santiago, Chile: Ediciones UC, 2012.
- SÁNCHEZ MOREIRAS, A. M. et al. Imaging of Chlorophyll a Fluorescence in Natural Compound-Induced Stress Detection. **Frontiers in Plant Science**, v.11, p.1-15, 2020.
- SANTOS, H. G. DOS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- SCHANSKER, G. et al. Chlorophyll a fluorescence: beyond the limits of the QA-model. **Photosynth Res**, n.120, p. 43-58, 2014.
- SCHWARTZ, M. D. (ED.). **Phenology: An Integrative Environmental Science**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2003.
- SELEZNYOVA, A.N. et al. Analysis of the earliest-observed expression of dwarfing rootstock effects on Young apple trees, using application of Markovian models. **Acta Horticulturae**, v.732, 79–84, 2007.
- SHA, J. et al. Studies on the translocation characteristics of 13c-photoassimilates to fruit during the fruit development stage in 'fuji' apple. **Plant Physiol. Biochem.**, v. 154, p. 636-645, 2020.
- SHAUL, O. Magnesium transport and function in plants: the tip of the iceberg **Biometals**, v.15, p. 307-321, 2002.
- SHIRI, M.A. et al. Effect of CaCl₂ sprays at different fruit development stages on postharvest keeping quality of 'Hayward' kiwifruit. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 40, p. 624-635, 2015.

SILVA, J. A. A.; GRIZOTTO, R. K.; MIGUELIVANA, F. B.; BÁRBARO, M. Caracterização físico-química de frutos de clones de doviális (*Dovyalis abyssinica* Warb). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 1, 2011.

SOSTER, M. T. B. Avaliação da fenologia das cultivares de macieira Imperatriz, Imperatriz Gala e Fuji em pomar em Bom Retiro – SC. **Biotemas**, v. 20, n. 4, p. 1–6, 2007.

SOUSA, S. I. **Poda das plantas frutíferas**. 15^a ed. São Paulo: Editora Nobel, 2005.

STREIT, N. M.; CANTERLE, L. P.; CANTO, M. W.; HECKTHEUER, L. H. H. As clorofilas. **Ciência Rural**, v. 35, n. 3, 2005.

TAÏBI, K. et al. Effect of salt stress on growth, chlorophyll content, lipid peroxidation and antioxidant defence systems in *Phaseolus vulgaris* L. **South African Journal of Botany**, v. 105, p. 306–312, 2016.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6^a ed. Porto Alegre: Artmed, 2016.

TECCHIO, M. A. et al. Evolution and perspective of the temperate fruit crops in São Paulo state, Brazil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. spe1, p. 150–157, 2011.

TEISSEIRE, H.; GUY, V. Copper-induced changes in antioxidant enzymes activities in fronds of duckweed (*Lemna minor*). **Plant Science**, v. 153, n. 1, p. 65–72, abr. 2000.

VALENTINI, N. et al. Use of bioclimatic indexes to characterize phenological phases of apple varieties in Northern Italy. **International Journal of Biometeorology**, v. 45, n. 4, p. 191–195, 2001.

VERBRUGGEN, N. Physiological and molecular responses to magnesium nutritional imbalance in plants. **Plant Soil**, v. 368, p. 87-99, 2013.

WEBSTER, A. D. Rootstock and interstock effects on deciduous fruit tree vigour, precocity, and yield productivity. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, v.23, 373-382, 1995.

WHATLEY, J. M. **Luz E A Vida Das Plantas**. 1^a edição ed. São Paulo: EPU, 2006.

WREGGE, M. S. et al. Agroclimatic zoning of European and Asian pear cultivars with potential for commercial planting in southern Brazil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 39, n. 2, p. 1–11, 2017.

XU, H. et al. Rootstock–Scion Hydraulic Balance Influenced Scion Vigor and Yield Efficiency of *Malus domestica* cv. Honeycrisp on Eight Rootstocks. **Horticulturae**, v. 7, n. 5, p. 99, 2021.

XU, X. X. et al. Effects of potassium levels on plant growth, accumulation and distribution of carbon, and nitrate metabolism in apple dwarf rootstock seedlings. **Front. Plant Sci.**, v.11, 2020.

YIN, H. et al. Graft-union development: a delicate process that involves cell–cell communication between scion and stock for local auxin accumulation. **Journal of Experimental Botany**, v. 63, n. 11, p. 4219–4232, 2012.

YURI, J. A.; MOGGIA, C.; SEPULVEDA, A.; POBLETE-ECHEVERRÍA, C.; VALDÉS-GÓMEZ; H.; TORRES C.A. Effect of cultivar, rootstock, and growing conditions on fruit maturity and postharvest quality as part of a six-year apple trial in Chile. **Scientia Horticulturae**. V. 253, n.27, 2019, p.70-79.

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, n. 1, p. 9–17, 2010.

ZHOU, Y. et al. Morphological and photosynthetic responses differ among eight apple scion-rootstock combinations. **Scientia Horticulturae**, v. 261, p. 108981, fev. 2020.