

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

EFICIÊNCIA E APLICABILIDADE DA PODA MECANIZADA EM MACIEIRA CV.
MAXI GALA

Victória Reis Bortoluz
Engenheira Agrônoma/UFRGS

Dissertação apresentada com um dos requisitos
à obtenção do Grau de Mestre em Fitotecnia
Área de concentração Sistemas de Produção Vegetal

Porto Alegre (RS), Brasil
Outubro de 2022

CIP - Catalogação na Publicação

Bortoluz, Victoria Reis
EFICIÊNCIA E APLICABILIDADE DA PODA MECANIZADA EM
MACIEIRA CV. MAXI GALA / Victoria Reis Bortoluz. --
2022.
57 f.
Orientador: André Luis Vian.

Coorientador: Gilmar A. Bettio Marodin.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia, Porto Alegre, BR-RS,
2022.

1. maçã. 2. manejo. 3. mecanização. 4. eficiência.
5. poda. I. Vian, André Luis, orient. II. Marodin,
Gilmar A. Bettio, coorient. III. Título.

Victória Reis Bortoluz
Engenheira Agrônoma - UFRGS

DISSERTAÇÃO

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

MESTRE EM FITOTECNIA

Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em: 01/11/2022
Pela Banca Examinadora

André Luis Vian
Orientador
UFRGS

SIMONE MUNDSTOCK JAHNKE
Coordenadora do Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia

Gilmar A. Bettio Marodin
Coorientador(a)
UFRGS

Fernando José Hawerroth
EMBRAPA UVA E VINHO

Renar Bender
UFRGS

CARLOS ALBERTO BISSANI
Diretor da Faculdade de
Agronomia

Christian Bredemeier
UFRGS

*“Que nada nos defina, que nada nos sujeite. Que a liberdade seja a nossa
própria substância, já que viver é ser livre.”*

Simone de Beauvoir

EFICIÊNCIA E APLICABILIDADE DA PODA MECÂNICA EM MACIEIRA CV. MAXI GALA¹

Autora: Victória Reis Bortoluz

Orientador: André Luis Vian

Coorientador: Gilmar Arduino Bettio Marodin

RESUMO

A poda é uma das principais práticas de manejo empregadas na cultura da macieira e tem como finalidade possibilitar um melhor equilíbrio entre o crescimento vegetativo e a produção, mas apresenta alta demanda de mão de obra. Nesse sentido a poda mecânica pode minimizar a operação, havendo a necessidade de estudos de viabilização técnica e de rendimento operacional. A Agricultura de Precisão (AP) fornece diversas ferramentas tecnológicas que podem ser adotadas em diversas etapas do processo produtivo na fruticultura. Os objetivos do presente trabalho foram avaliar o comportamento espectral da macieira durante o ciclo da cultura, submetida a diferentes sistemas de poda por meio de sensores de vegetação. Avaliar a eficiência operacional e os principais índices de qualidade dos frutos, em função dos diferentes tipos e épocas de poda. Os experimentos foram conduzidos em um pomar comercial no município de Vacaria-RS, durante as safras agrícolas de 2020/21 e 2021/22. Os tratamentos foram o sem poda, poda padrão, poda mecanizada no outono, poda mecanizada no verão e poda mecanizada no outono e verão. Na primeira safra os estádios de maior produção de biomassa das plantas de macieiras influenciaram os valores de NDVI. Os tratamentos com poda mecanizada apresentaram menor tempo para podar um hectare se comparados com a poda padrão. Já para o rendimento de frutos e a massa fresca média, de ambos os porta-enxertos avaliados, não se observou diferença significativa entre os diferentes tratamentos analisados. Com relação ao Sólidos Solúveis Totais, houve diferença significativa apenas em frutos de 'Maxi Gala' enxertados em Marubakaido com filtro M9 onde a poda padrão apresentou o maior teor.

¹ Dissertação de Mestrado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (59f) Outubro, 2022.

EFFICIENCY AND APPLICABILITY OF MECHANICAL PRUNING IN APPLE TREE CV. MAXI GALA¹

Author: Victória Reis Bortoluz

Adviser: André Luis Vian

Co-Adviser: Gilmar Arduino Bettio Marodin

ABSTRACT

Pruning is one of the main management practices used in the apple tree culture and its purpose is to enable a better balance between vegetative growth and production, but it has a high demand for labor. In this sense, mechanical pruning can minimize the operation, with the need for technical feasibility and operational yield studies. Precision Agriculture (PA) provides several technological tools that can be adopted in different stages of the production process in fruit growing. The objectives of this study were to evaluate the spectral behavior of the apple tree during the crop cycle, submitted to different pruning systems using vegetation sensors. Evaluate the operational efficiency and the main fruit quality indices, depending on the different types and times of pruning. The experiments were carried out in a commercial orchard in the municipality of Vacaria-RS, during the 2020/21 and 2021/22 agricultural harvests. The treatments were no pruning, standard pruning, mechanized pruning in autumn, mechanized pruning in summer and mechanized pruning in autumn and summer. In the first crop, the stages of highest biomass production of apple tree plants influenced the NDVI values. Treatments with mechanized pruning showed less time to prune one hectare compared to standard pruning, already used by the producer. As for fruit yield and average fresh mass, of both evaluated rootstocks, no significant difference was observed between the different treatments analyzed. Regarding Total Soluble Solids, there was a significant difference only in 'Maxi Gala' fruits grafted in Marubakaido with M9 filter, where the standard pruning showed the highest content.

¹ Master Dissertation in Plant Science, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (59p) October, 2022.

Sumário

	Página
1 INTRODUÇÃO	41
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 Macieira	3
2.1.1 Características gerais da cultura	3
2.1.2 Sistema de produção.....	5
2.1.3 Poda na macieira.....	6
2.1.4 Colheita e pós-colheita	7
2.2 Agricultura de precisão	8
2.2.1 Características gerais	8
2.2.2 Ferramentas de AP.....	9
2.2. Sensores de vegetação.....	10
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1 Localização e caracterização da área em estudo	12
3.2 Delineamento experimental e descrição dos tratamentos	14
3.3 Dados meteorológicos	16
3.4 Biomassa fresca de ramos	18
3.5 Rendimento operacional dos métodos de poda.....	18
3.6 Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI).....	18
3.7 Rendimento e qualidade de frutos de maçãs.....	19
3.8 Análise estatística	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	43

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Características dos principais índices de maturação de maçãs da cultivar Gala.....	8
2. Características químicas do solo das áreas experimentais em Vacaria/RS.....	13
3. Caracterização dos tratamentos avaliados nos experimentos em ambos os pomares.....	15
4. Massa de ramos retirados com um ano e dois anos ou mais em 'Maxi Gala' enxertada em Marubakaido com filtro M9 e em M9, nas safras agrícolas de 2020/21 e 2021/22.....	25
5. Classificação dos frutos (%) de 'Maxi Gala' enxertadas em Marubakaido com filtro M9 e em M9 nas categorias 1, 2, 3, 4 e 5, nas safras 2020/21 e 2021/22.....	35
6. Avaliação da coloração dos frutos (%) 'Maxi Gala' enxertadas em Marubakaido com filtro M9 e em M9 nas categorias I, II, III e IV, nas safras 2020/21 e 2021/22.....	36
7. Avaliação da qualidade pós-colheita dos frutos de 'Maxi Gala' enxertadas em Marubakaido com filtro M9 e em M9, nas safras 2020/21 e 2021/22.....	39

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Estruturas de frutificação da macieira. Fonte: Francescato (2014).....	4
2. Fenologia da macieira. Adaptado de Kumar <i>et al.</i> (2020).....	5
3. Ciclo da Agricultura de Precisão ao longo do ciclo de produção. Fonte: Kagami <i>et al.</i> (2013).....	9
4. Curva típica de reflectância da vegetação. Fonte: Rizzi (2005).....	11
5. Mapa de localização do município de Vacaria (RS). Fonte: Lana, Werlang e Saldanha (2018).....	13
6. Áreas experimentais. Fonte: Google (2020).....	14
7. Poda mecanizada (A), esquadro (B) e poda padrão utilizada pelo produtor (C).....	16
8. Temperatura do ar (°C) e precipitação pluviométrica (mm) durante o ciclo da cultura no município de Vacaria-RS, nas safras agrícolas 2020/21 e 2021/22. Fonte: INMET (A880).....	17
9. Categorias de coloração consideradas na avaliação visual.....	20
10. Avaliação da firmeza da polpa das maçãs com auxílio de penetrômetro manual.....	20
11. Medição de Sólidos Solúveis Totais em maçãs: refratômetro (a) e leitura do grau Brix do fruto (b).....	21
12. Tabela de iodo-amido para determinação da maturação dos frutos. Adaptado de Girardi, Sanhueza e Bender (2002).....	22
13. Ramos vegetativos observados nos tratamentos com poda mecanizada.....	26
14. Tempo (h ha ⁻¹) necessário para podar pomar de 'Maxi Gala' enxertada em M9 (a) e Marubakaido com filtro M9 (b) nos diferentes tipos de poda, nas safras 2020/21 e 2021/22.....	27
15. Dinâmica temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) obtido a partir de sensor óptico ativo, em função das datas de avaliação de 'Maxi Gala' enxertada em Marubakaido com filtro M9, nos anos agrícolas 2020/21 (a) e 2021/22 (b).....	29
16. Dinâmica temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) obtido a partir de sensor óptico ativo, em função das datas de avaliação de 'Maxi Gala' enxertada em M9, nos anos agrícolas 2020/21 (a) e 2021/22 (b).....	31
17. Rendimento (t ha ⁻¹) de 'Maxi Gala' enxertada em M9 (a) e Marubakaido com filtro M9 (b) nos diferentes tipos de poda, nas safras 2020/21 e 2021/22.....	32

	Página
18. Normal climática (1981-2010) do município de Vacaria-RS. Fonte: INMET (A880).....	33

1 INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva da maçã (*Malus domestica* Borkh.) é uma das pioneiras na implantação do sistema de produção integrada, o qual preconiza o emprego de tecnologias de controle por meio do monitoramento de todas as etapas produtivas; entretanto, algumas práticas de manejo ainda são realizadas com baixo emprego de mecanização.

A maioria das práticas culturais na macieira são realizadas de forma manual, tornando o cultivo muito dependente da mão-de-obra e elevando o custo de produção ao longo dos anos. Cabe salientar que algumas práticas acabam sendo realizadas fora do período indicado para a cultura devido a limitada disponibilidade de mão-de-obra especializada. Uma solução encontrada pelos produtores em períodos de alta demanda, como a colheita, é a contratação de pessoas de outras regiões, até mesmo de outros estados do país.

Uma das principais práticas de manejo empregadas na cultura da macieira é a poda, uma vez que a mesma tem a finalidade de proporcionar um melhor equilíbrio entre o crescimento vegetativo com a produção (RUFATO, 2016). A poda confere às plantas um maior potencial produtivo e maior regularidade produtiva ao longo dos ciclos. Além disso, essa prática de manejo possibilita maior eficiência no manejo fitossanitário, melhor interceptação de luz no interior do dossel, interferindo diretamente nas estruturas de frutificação e na qualidade das gemas.

Essa é a prática de manejo que apresenta maior facilidade para a implementação de mecanização, e já vem sendo utilizada, embora ainda de maneira semi-mecanizada, o que ainda demanda bastante disponibilidade de mão-de-obra, além de não estar devidamente consolidada em função da necessidade de avaliações.

A Agricultura de Precisão (AP) oferece várias ferramentas tecnológicas que são adotadas em várias etapas do processo produtivo na agricultura. Além disso, as ferramentas de AP vêm aos poucos sendo empregadas em outros setores do agronegócio, como a fruticultura. No Brasil a fruticultura de precisão já vem sendo implementada em algumas culturas como citros e videira, entretanto, para outras culturas hortícolas, como no caso da macieira, existem poucos estudos. Um dos impasses para esta maior aceitação e adaptabilidade das ferramentas, atualmente disponíveis no mercado, são as peculiaridades que cada cultura apresenta, como é o caso da maçã que é, majoritariamente, consumida *in natura*, onde os parâmetros de qualidade, não só organolépticos, mas também visuais são de extrema relevância para a precificação final dos produtos.

As tecnologias de AP apresentam grande potencial para avaliar e melhorar a predição do momento, intensidade e qualidade da poda. A utilização de sensores de vegetação que possibilitam avaliar e acompanhar o comportamento das plantas com diferentes formas de poda (manual e mecanizada) ao longo do ciclo de produção se apresenta como uma alternativa que possibilita a tomada de decisão mais assertiva ao produtor no que diz respeito a época e intensidade da realização da prática de manejo.

Assim, os objetivos do presente trabalho foram avaliar o comportamento espectral da macieira durante o ciclo da cultura, submetida a diferentes sistemas de poda por meio de sensores de vegetação; avaliar a quantidade de biomassa retirada das plantas e os principais índices de qualidade dos frutos, em função dos diferentes tipos e épocas de poda; e avaliar a eficiência operacional da poda mecanizada, quando comparada com a poda manual.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Macieira

2.1.1 Características gerais da cultura

Denominada como *Malus domestica* Borkh. a macieira, é um híbrido complexo, pertencente à ordem Rosales, família Rosaceae e subfamília Pomoideae, a qual teve o continente asiático como seu centro de origem (Phipps *et al.*, 1990; Bleicher, 2006).

De acordo com a FAO, em 2020, a produção mundial totalizou, aproximadamente, 86,4 milhões de toneladas de maçãs e os maiores produtores da fruta e suas respectivas produções, em porcentagem, foram China (46,85%), Estados Unidos da América (5,38%), Turquia (4,97%), Polônia (4,11%) e Índia (3,16%). O Brasil encontra-se na 15ª posição, produzindo o correspondente a 1,13% da produção mundial.

O cultivo no Brasil, quando comparado com a produção mundial, é relativamente novo, com início na década de 1970 (PETRI *et al.*, 2011). A maior parte da produção brasileira é proveniente da região Sul, sendo que o Rio Grande do Sul (RS) é o segundo maior produtor de maçãs, atrás apenas de Santa Catarina (SC). A área total de cultivo no RS é de aproximadamente 16 mil hectares, com uma produção média anual acima de 490 mil toneladas (IBGE, 2020). O grande destaque na produção é a região dos Campos de Cima da Serra, onde o município de Vacaria destaca-se com 13.245 ha e, aproximadamente 423.000 toneladas produzidas (IBGE, 2020).

De acordo com FAO (2020), a maçã é uma das frutas mais produzidas no mundo. Existem diversos sistemas de condução da macieira, mas a estrutura vegetativa usualmente utilizada é dada pela formação de um líder central, que

apresenta função estrutural, ramos primários e secundários (HOFFMAN; BERNARDI, 2004). O sistema de condução em líder central consiste na condução da planta de maneira que se obtenha uma forma piramidal com o líder central (EMBRAPA, 2004). De acordo com Francescatto (2014), a maioria das estruturas de frutificação, principalmente as brindilas e os esporões estão localizadas em ramos secundários (Figura 1).

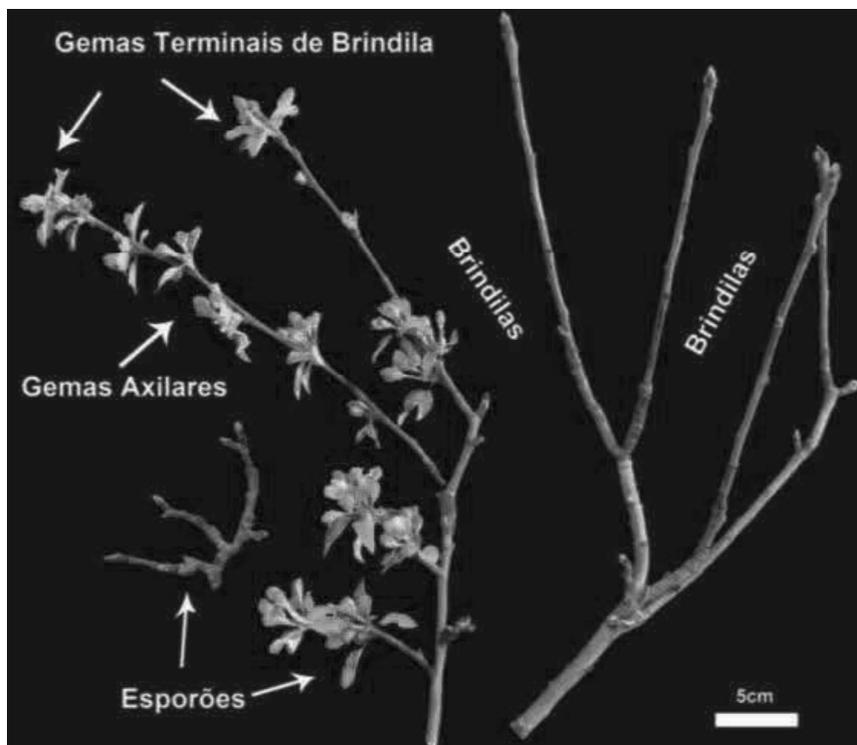


FIGURA 1. Estruturas de frutificação da macieira. Fonte: Francescatto (2014).

A frutificação efetiva se dá por meio da polinização cruzada e fecundação. Além disso, para que um fruto de maçã se desenvolva adequadamente são necessárias em torno de 30 a 40 folhas. Os frutos recebem estímulos hormonais maiores durante a fase inicial de desenvolvimento e, à medida que o fruto se aproxima da maturação esses estímulos vão reduzindo. Ademais, o uso de mudas de qualidade e certificadas, o manejo adequado do solo e da planta, o acúmulo necessário de horas frio (HF), a utilização da indução de brotação e práticas culturais equilibradas, como poda e raleio, favorecem a implantação de um pomar com boas características de produção (HOFFMAN; BERNARDI, 2004).

2.1.2 Sistema de produção

A cadeia produtiva da maçã foi a pioneira na implantação do sistema de Produção Integrada de Frutas (PIF) devido à organização e interesse do setor na produção de acordo com as exigências do mercado consumidor (EMBRAPA, 2004). O sistema de Produção Integrada de Maçã (PIM) é responsável por estabelecer normas para a produção de maçãs através de técnicas de manejo que garantem o uso adequado de agrotóxicos e fertilizantes, controle e manejo correto de determinada praga ou doença, manejo do solo e demais processos da cadeia, garantindo ao consumidor alimentos mais saudáveis e de melhor qualidade e com índices de agrotóxicos de acordo com os padrões exigidos (SANHUEZA; OLIVEIRA, 2006; EMBRAPA, 2017).

O ciclo da maçã é composto por períodos de dormência, florescimento, frutificação e colheita (Figura 2). A cultura da maçã apresenta diversas práticas culturais e essas são de suma importância para a obtenção do produto final com alta qualidade. As principais práticas culturais necessárias na cultura são poda, aplicação de fitorreguladores, quebra de dormência, raleio de frutos, manejo da cobertura vegetal, manejo integrado de pragas e doenças, tratamentos fitossanitários e colheita (EMBRAPA, 2004).

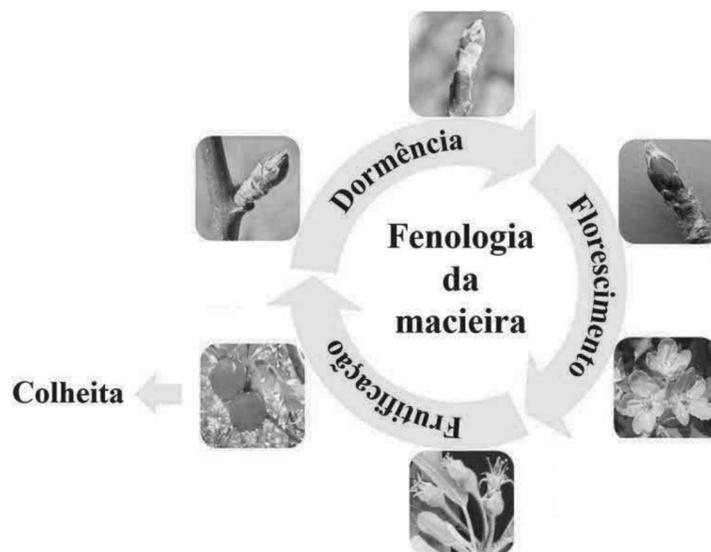


FIGURA 2. Fenologia da macieira. Adaptado de Kumar *et al.* (2020).

2.1.3 Poda na macieira

Segundo Rufato (2016), a poda é uma prática de manejo utilizada na cultura da macieira com o intuito de equilibrar o crescimento vegetativo e a produção. Essa prática cultural pode ser usada para remover partes improdutivas da planta e auxiliar no controle do tamanho e formato da planta, influenciando na qualidade dos frutos e no rendimento (HE; SCHUPP, 2018). De acordo com Souza *et al.* (2018), a poda também pode auxiliar na redução dos problemas fitossanitários, além de aumentar a incidência de luminosidade através da remoção de ramos mal posicionados.

De acordo com Pereira & Petri (2006) há uma redução no número de pontos de crescimento na planta com a poda e, dessa forma, os pontos de recrescimento são supridos pelo mesmo sistema radicular e pelos assimilados armazenados, resultando num acréscimo de carboidratos disponíveis, o que favorece maior crescimento de ramos. Além disso, conforme Hawerth (2010), há menor competição de minerais e carboidratos entre estruturas vegetativas e de frutificação, uma vez que a poda diminui a quantidade de frutos por planta, contribuindo para maior desenvolvimento vegetativo.

Conforme Webster (2005), a época de poda influencia no nível de resposta de recrescimento de ramos. Em situações em que a poda é realizada em intensidade moderada à severa, em plantas ainda dormentes, haverá o crescimento de ramos mais longos no próximo ciclo, em comparação com plantas não podadas (WEBSTER, 2005; PEREIRA; PETRI, 2006). A poda verde, também chamada de poda de verão, realizada antes da colheita, mostra efeitos variáveis no crescimento dos ramos (MIKA, 2011).

As plantas submetidas à poda realizada durante o verão apresentam menor vigor do que aquelas submetidas à poda de inverno, ambas realizadas na mesma intensidade, mas as podas de final de verão e início de outono apresentam menor crescimento vegetativo (MIKA, 2011). A poda de outono, mesmo que não apresente crescimento visível, aumenta a atividade fisiológica das gemas e pode aumentar a suscetibilidade da planta a danos causados pelo frio durante o inverno (PEREIRA; PETRI, 2006).

Apesar disso, segundo Rufato (2016), há pouca disponibilidade de mão de obra, recomendando-se a otimização dessa prática cultural. Além da utilização de sistemas de condução que exijam menor intensidade de poda, o

emprego da mecanização surge como uma alternativa. Conforme Mika *et al.* (2016), diversas espécies de frutas já são podadas mecanicamente, como videiras e citros. A eficácia da poda mecanizada depende do tipo de máquina, do tamanho e estrutura das árvores e da habilidade do condutor (FORSHEY, 1976).

De acordo com estudos realizados por Mika *et al.* (2016), a poda mecanizada em macieiras alterou significativamente a estrutura do dossel, tornando-o uma parede compacta e contínua. Além disso, os frutos oriundos do tratamento com poda mecanizada apresentaram menores tamanho, peso médio e coloração vermelha, apesar dos maiores rendimentos. Segundo Forshey (1976), a poda mecanizada em macieiras não deve substituir completamente a poda manual e, sim, ser combinada com a poda manual apropriada, visando reduzir os custos de produção e viabilizando a cadeia produtiva.

2.1.4 Colheita e pós-colheita

A colheita da maçã é realizada manualmente e para determinar o ponto de colheita deve-se realizar a coleta de amostras, preferencialmente três semanas antes da provável colheita, retirando 15 a 20 frutos de cada quadra do pomar, utilizando-se mais de um índice de colheita (Girardi *et al.*, 2004). Os índices de colheita mais utilizados são iodo-amido, teor de Sólidos Solúveis Totais (SST) e firmeza de polpa.

Para a determinação do índice iodo-amido é necessário cortar a fruta transversalmente e, então, imergir uma das metades em uma solução aquosa de iodo por um minuto. Retira-se a fruta da solução, aguardam-se dez minutos e compara-se a área de reação da fruta com uma tabela apropriada, onde o índice 1 refere-se ao fruto imaturo e alto teor de amido, enquanto o índice 9 refere-se ao teor de amido próximo a zero e fruto amadurecido (Figura 3). Já a medição do SST é realizada através do refratômetro, onde com uma gota do suco da fruta consegue-se obter o grau Brix da mesma. A firmeza de polpa é obtida através do penetrômetro, equipamento que possibilita medir a força necessária para superar a resistência dos tecidos da polpa (GIRARDI *et al.*, 2004).

De acordo com Girardi e Bender (2003), cada cultivar apresenta valores ótimos para cada índice (Tabela 1). Esses indicadores são importantes, tanto na

pré-colheita quanto na pós-colheita, uma vez que a determinação do momento ótimo de colheita possibilita o armazenamento prolongado da fruta (GIRARDI *et al.*, 2004).

TABELA 1. Características dos principais índices de maturação de maçãs da cultivar Gala.

Cultivar	Características de qualidade		
	Firmeza (lbs)	SST (°Brix)	Amido (1-9)
Gala	17 a 19	> 11	3,0 a 5,0

Adaptado de Girardi e Bender (2003).

2.2 Agricultura de precisão

2.2.1 Características gerais

O termo Agricultura de Precisão (AP) pode ser definido como uma filosofia de gerenciamento agrícola que parte de informações exatas, precisas e se completa com decisões exatas. AP é uma maneira de gerir um campo produtivo metro a metro, levando em conta o fato de que cada pedaço da área tem propriedades diferentes (ROZA, 2000). Ainda, a AP pode ser definida como o conjunto de práticas de manejo onde os produtores são capazes de determinar a variabilidade na propriedade, e então manejá-la no intuito de aumentar produtividade e a rentabilidade produtiva, englobando o uso de tecnologias para o manejo de solo, insumos e culturas (BATCHELOR *et al.*, 1997; EMBRAPA, 1997).

A busca por eficiência na atividade agrícola faz com que uma maior quantidade de informações seja coletada, possibilitando maior velocidade e acurácia no processo de tomada de decisão em tempo real. Através das informações precisas geradas pela utilização de tecnologias disponíveis, como o sensoriamento remoto, o uso de sistemas de informações geográficas (SIG) e o sistema de posicionamento global (GPS), a agricultura de precisão, permite predição do melhor manejo do solo, dos insumos e das culturas, de modo a adequar as variações espaciais e temporais dos fatores que afetam o potencial produtivo em uma determinada área em tempo real (VIAN, 2015; DALLMEYER & SCHLOSSER, 1999).

2.2.2 Ferramentas de AP

As ferramentas de AP possibilitam uma avaliação mais ampla das variações presentes em uma propriedade, passando desde o acompanhamento da nutrição do solo, sistemas de plantio e aplicação de defensivos agrícolas (Figura 3). A utilização de imagens digitais, de modo geral, tem por objetivo analisar a taxa de cobertura do solo, ou seja, a porcentagem que o dossel vegetativo da cultura consegue cobrir. As câmeras fotográficas podem captar a refletância em diferentes canais ou bandas, como binárias, monocromáticas, RGB (vermelho, verde e azul), NIR (infravermelho) e multiespectrais (VIAN, 2015). Os sensores de vegetação que visam extrair dados de refletância em tempo real da planta, como Greenseeker, imagens digitais e clorofilômetro, podem ser correlacionados com parâmetros de estado nutricional, de rebrote, ataque de pragas, dentre outros (KAGAMI *et al.*, 2013).



FIGURA 3. Ciclo da Agricultura de Precisão ao longo do ciclo de produção. Fonte: Kagami *et al.* (2013).

Além dos sensores de vegetação existem sensores de solo, como os de condições físicas do solo, chamados de penetrômetros, condutividade do solo e de umidade. O penetrômetro é baseado na resistência do solo à penetração de

uma haste, com um impacto conhecido provocado pelo deslocamento vertical, por uma distância conhecida, de maneira geral, 40 cm (CORDEIRO *et al.*, 1998). Os sensores de condutividade do solo são utilizados para determinar a habilidade da área amostral em conduzir ou acumular a carga elétrica, com base em um emissor e um receptor (FUJIWARA, 2015). Os sensores de umidade do solo contam com duas sondas que medem a quantidade de volume de água no solo, a partir de uma corrente elétrica que permite medir a resistência, sendo esta correlacionada com a umidade do solo (IRRIGAT, 2022).

Ademais dos sensores de solo e de vegetação, existem os monitores de colheita que permitem gerar mapas de colheita, propriamente dito. Estes são baseados na medição do fluxo de grão que estão passando no elevador de grãos limpos da colhedora, com a marcação de um ponto que é obtido por DGPS, dando o posicionamento correto e instantâneo da máquina. Este ponto é a representação de uma pequena área retangular, formado pela largura da plataforma da colhedora e o comprimento é a distância percorrida pela máquina durante um tempo conhecido, de maneira geral, três segundos (MOLIN, 2022).

2.2. Sensores de vegetação

2.2.2.1 Greenseeker

O Greenseeker foi desenvolvido pela Universidade de Oklahoma (EUA) na década de 90, sendo um dos sensores de vegetação mais utilizados, atualmente comercializado pela empresa Trimble. O funcionamento é baseado em diodos de emissão de radiação na faixa do vermelho (650 nm \pm 10 nm) e do infravermelho próximo (770 nm \pm 15 nm). A radiação emitida é refletida pelo dossel da cultura e medida por um fotodiodo localizado no equipamento, onde os dados são calculados por um microprocessador interno, fornecendo o valor do Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) (NTECH INDUSTRIES, 2022).

O Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) é determinado pela relação $(p_{ivp} - p_v)/(p_{ivp} + p_v)$, onde p_{ivp} e p_v se referem à reflectância do infravermelho próximo e vermelho, respectivamente. Plantas saudáveis absorvem grande parte do infravermelho próximo que as atingem, enquanto que plantas com alguma deficiência refletem mais luz no visível e menos infravermelho próximo. A variação numérica que o índice apresenta é de menos

um (-1) e mais um (+1), onde zero representa a falta de vegetação e valores próximos a +1 (0.8 – 0.9) indicam a possibilidade de alta densidade vegetal (NASA, 2000).

O sensor se baseia no princípio na absorção de bandas da radiação visível pelas plantas, de maneira geral, situadas entre 480 nm e 680 nm (Figura 4), sendo relacionadas à presença de clorofila. Já, no infravermelho próximo, os comprimentos de onda ficam em torno de 700 nm e 1300 nm, nos quais há alta reflectância por parte da vegetação, influenciando a morfologia celular, de forma a modificar o tamanho, número e formato das células da folha, além dos espaços intercelulares, assim como indicar deficiência nutricional e outros tipos de estresses, além da produção de biomassa vegetal, conforme apresentado na Figura 4 (AMARAL; MOLIN, 2011; RAPAPORT, 2014).

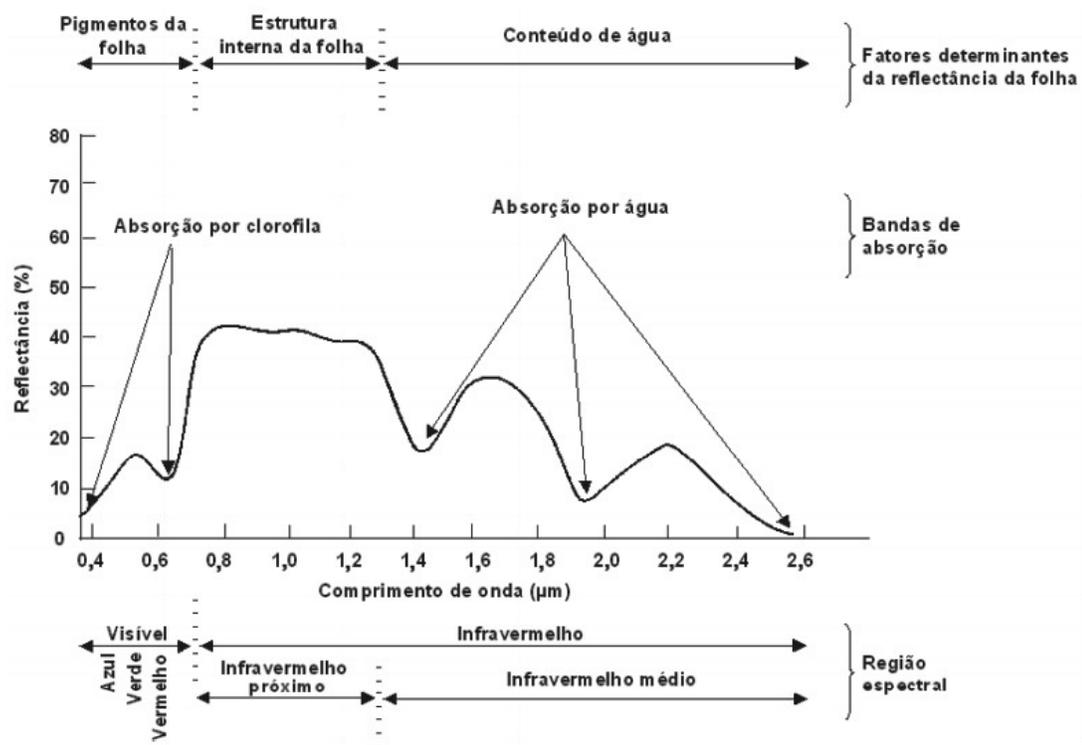


FIGURA 4. Curva típica de reflectância da vegetação. Fonte: Rizzi (2005).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área em estudo

O experimento de campo foi realizado nas safras agrícolas de 2020/2021 e 2021/2022, sendo conduzido em duas quadras (Quadra 4 e Quadra 7) em pomar comercial localizado no município de Vacaria no Rio Grande do Sul (RS), nas coordenadas geográficas de 28°26'57" de latitude sul e 50°50'29" de longitude oeste.

O município de Vacaria (Figura 5) está situado na região fisiográfica dos Campos de Cima da Serra (RS). O clima da região é classificado segundo Köppen, como temperado úmido com verões amenos, do tipo Cfb. A precipitação pluvial média anual é acima de 1.600 mm, distribuídos ao longo do ano. A temperatura média do ar varia entre 11,4 e 20,6°C, entre os meses mais frio (julho) e mais quente (janeiro) (PEREIRA *et al.*, 2009). O solo do município, conforme classificação proposta por Streck *et al.* (2018), é um Latossolo Bruno Aluminoférrico típico (LBaf).

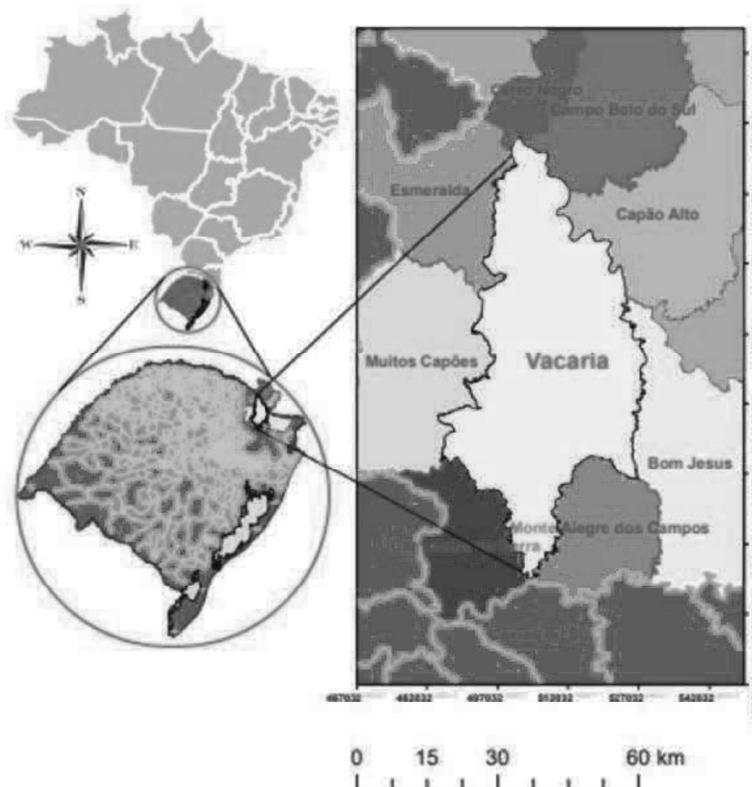


FIGURA 5. Mapa de localização do município de Vacaria (RS). Fonte: Lana, Werlang e Saldanha (2018).

Previamente à instalação do experimento, no mês de agosto de 2019, realizou-se a coleta de amostras de solo na camada 0 – 0,20 m em ambas as quadras (quadras 4 e 7) com o objetivo de caracterizar as características químicas do solo, a qual é apresentada na Tabela 2.

TABELA 2. Características químicas do solo das áreas experimentais em Vacaria/RS.

ID	pH ¹	Ca	Mg	Al	H + Al	CTC _{efetiva}	CTC _{pH7}	Saturação (%)		
		-----cmol _c .dm ⁻³ -----					Al	Bases		
Q 4	5,8	8,5	2,6	0,0	3,3	11,6	15,0	0,0	77,6	
Q 7	5,7	9,9	3,2	0,0	4,0	13,7	17,7	0,0	77,1	
	P ²	S	Cu	Zn	B	Mn	K	MO ³	Argila	Índice SMP
	-----mg.dm ⁻³ -----					m/v				
Q 4	2,5	22,4	11,5	11,0	0,4	38,3	190,0	3,7	47,0	
Q 7	8,4	23,7	8,8	11,0	0,6	15,9	228,0	4,0	48,0	6,1

¹pH em água; ²Fósforo (Mehlich) e ³Matéria orgânica do solo (%). Q = Quadra.

3.2 Delineamento experimental e descrição dos tratamentos

O experimento foi realizado em duas quadras de um mesmo pomar, com o mesmo espaçamento entre linhas e com diferentes porta-enxertos. A quadra 4 é caracterizada por possuir 8,61 hectares de 'Maxi Gala' enxertada em Marubakaido com filtro M9 e com espaçamento de 4 metros por 0,8 metro, totalizando 3.125 plantas ha⁻¹ (Figura 6). A quadra 7 é caracterizada por possuir 2,35 hectares de 'Maxi Gala' com porta-enxerto M9 e com espaçamento de 4 metros por 0,5 metros, totalizando 5.000 plantas ha⁻¹ (Figura 6). Ambas áreas tiveram seu plantio estabelecido no ano de 2006, possuindo, assim, 14 anos de idade no momento de implantação do experimento.



FIGURA 6. Áreas experimentais. Fonte: Google (2020).

O experimento foi conduzido no delineamento experimental em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições. A unidade experimental do experimento na quadra 4 foi constituída por três linhas de cultivo com 20 metros

de comprimento e a unidade experimental no experimento da quadra 7 foi constituída por três linhas de cultivo com 13 metros de comprimento. Os tratamentos foram compostos pelo tipo e época de poda (TABELA). Em cada uma das unidades experimentais, separou-se as seis plantas centrais, nas quais foram realizadas as avaliações do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e a produtividade. Para a seleção das seis plantas que compõem a área útil de cada parcela selecionou-se plantas representativas em relação à população da parcela.

TABELA 3. Caracterização dos tratamentos avaliados nos experimentos em ambos os pomares.

Tratamentos	Descrição do tratamento
T1	Testemunha (sem poda)
T2	Poda padrão produtor (final de junho)
T3	Poda mecanizada no outono (final de junho)
T4	Poda mecanizada no verão (final de dezembro)
T5	Poda mecanizada no outono e verão (final de junho e final de dezembro)

O método da poda mecanizada foi realizado pelas podadoras HLC-3 e HLC-5 da empresa Hidrautec, visando podar a parte superior e a parte lateral do dossel, respectivamente, acopladas a um trator New Holland TL 75E (Figura 7A). A velocidade média da operação foi de 3,8 km/h e a regulagem das podadoras foi realizada com o auxílio de um esquadro na forma de trapézio (Figura 7B), onde a altura máxima de corte do dossel das plantas foi de 4 metros, a base de corte no terço superior de 0,4 metros e no terço inferior de 0,8 metros, em cada lado da planta. A poda padrão é caracterizada como a poda utilizada pelo produtor rural, visando a retirada dos ramos vegetativos e ramos mal posicionados afim de melhorar a incidência de luz solar na planta. Para a realização da mesma foram necessários quatro colaboradores da empresa e fazendo uso de escadas para possibilitar a poda no terço superior da planta (Figura 7C). Todo o manejo dos pomares foi conduzido pelo produtor e seguindo os princípios da produção integrada de maçãs (CTPIM, 2020).

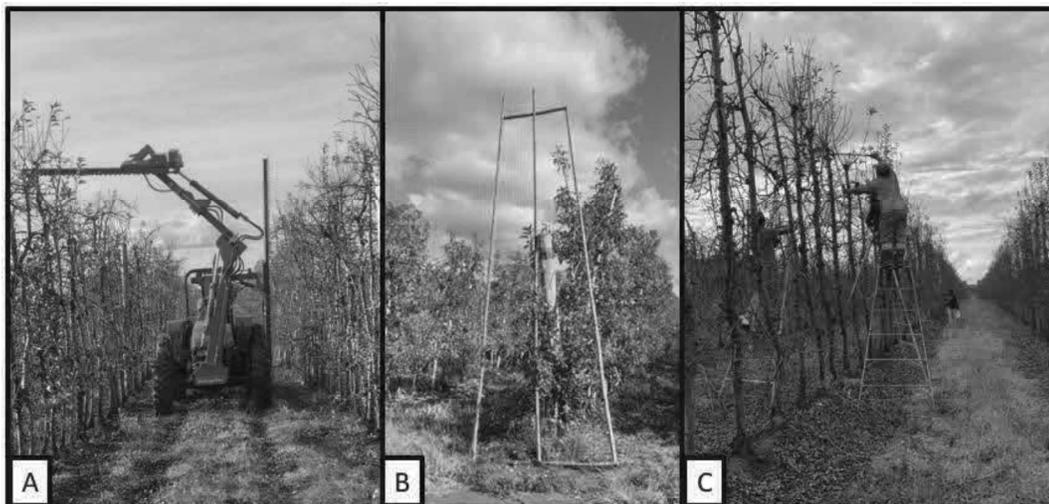


FIGURA 7. Poda mecanizada (A), esquadro (B) e poda padrão utilizada pelo produtor (C).

3.3 Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos das áreas experimentais foram monitorados durante todo o período de condução do experimento, com base na estação meteorológica do INMET (A880), localizada no município de Vacaria (RS). Foram coletados os dados de temperatura mínima, média, máxima e a precipitação, apresentados na Figura 8. A precipitação anual da safra 2020/21 foi de aproximadamente 2175 mm, enquanto que na segunda safra avaliada foi de 1490 mm.

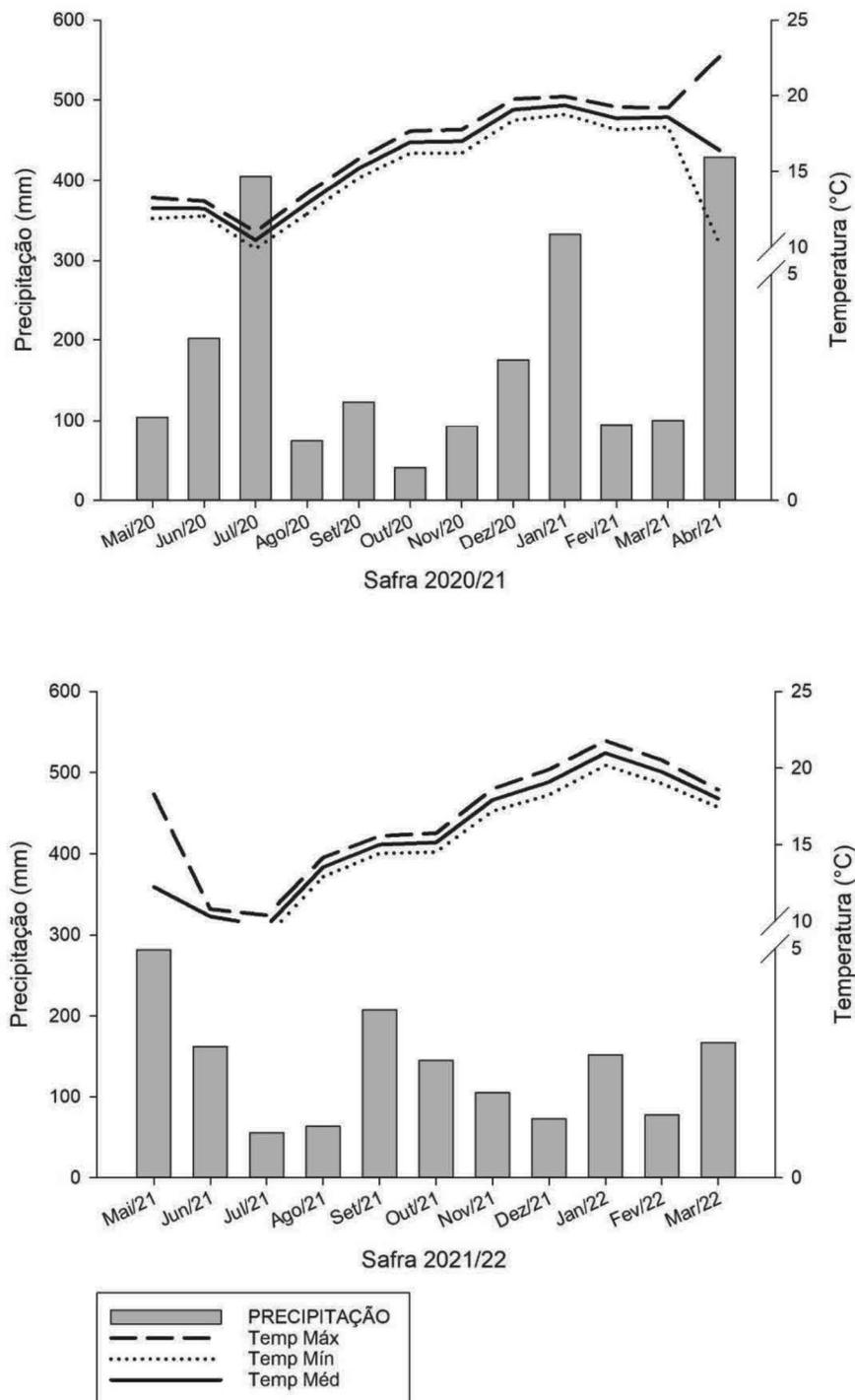


FIGURA 8. Temperatura do ar (°C) e precipitação pluviométrica (mm) durante o ciclo da cultura no município de Vacaria-RS, nas safras agrícolas 2020/21 e 2021/22. Fonte: INMET (A880).

3.4 Biomassa fresca de ramos

A quantidade de biomassa fresca de ramos retirada em cada método de poda foi quantificada através da avaliação dos ramos retirados da parcela (seis plantas centrais) e posterior separação da massa de ramos de um ano e dos ramos de dois anos ou mais. Essa avaliação foi realizada com o auxílio de uma balança de precisão.

3.5 Rendimento operacional dos métodos de poda

O rendimento operacional de cada método de poda foi avaliado com o auxílio de um cronômetro. Sabendo-se o tamanho da unidade amostral e o tempo necessário para realizar a poda da unidade amostral, extrapolou-se os resultados para tempo (h) por área (ha) utilizadas para podar.

3.6 Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)

A avaliação da reflectância do dossel foi realizada com auxílio do sensor óptico ativo Greenseeker®, que estima o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). O sensor é equipado com diodos de emissão de radiação vermelha e infravermelho com os comprimentos de onda do vermelho (650 ± 10 nm) e infravermelho próximo (770 ± 15 nm) para determinação da reflectância. As avaliações da reflectância do dossel vegetativo foram realizadas uma vez por mês durante os meses de outubro de 2020 a abril de 2021 e de outubro de 2021 a fevereiro de 2022. O aparelho foi posicionado de forma lateral à linha da cultura em duas alturas da copa da planta, 1,20 e 2,00 metros, respectivamente. As leituras foram realizadas a uma distância de aproximadamente 0,8 metros através do deslocamento linear do equipamento, o qual apresenta uma largura útil captada pelo sensor de 0,6 metros.

O NDVI é calculado conforme a equação:

$$\text{NDVI} = ((\text{IVP}-\text{V})) / ((\text{IVP}+\text{V})) \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

V: refere-se à reflectância no vermelho (650 ± 10 nm).

IVP: refere-se à reflectância na região do infravermelho próximo (770 ± 10 nm).

3.7 Rendimento e qualidade de frutos de maçãs

O rendimento dos frutos foi quantificado pela colheita manual de todos os frutos da parcela, constituída por seis plantas centrais. Os frutos de cada unidade amostral foram pesados e o valor total de cada parcela foi extrapolado para kg ha^{-1} , sendo todas as avaliações realizadas em laboratório.

Após a colheita foram selecionados de forma aleatória 20 frutos de cada parcela para realizar a avaliação da qualidade dos mesmos. Os parâmetros de qualidade avaliados foram: classificação por categoria, coloração, massa fresca média, determinação da firmeza da polpa, °Brix e o índice de iodo-amido dos frutos.

As frutas foram classificadas em Categoria 1, 2, 3, 4 e 5, baseando-se nos parâmetros exigidos pela Instrução Normativa nº 5 de 9 de fevereiro de 2006 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Assim, nos frutos pertencentes à Categoria 1 (CAT 1) admitiu-se até dois defeitos por fruta, na intensidade delimitada como CAT 1. Para os frutos enquadrados na Categoria 2 (CAT 2) foram admitidos até três defeitos por fruta, na intensidade delimitada como CAT 2. Para as maçãs pertencentes à Categoria 3 (CAT 3) foram admitidos até quatro defeitos por fruta, com intensidade delimitada como CAT 3. As frutas que apresentavam mais de quatro defeitos e não se enquadravam em CAT3 foram classificadas como Categoria 4 (CAT 4). Já, as frutas destinadas à indústria eram classificadas como Categoria 5 (CAT 5).

Para a avaliação da coloração realizou-se a análise visual classificando-se as categorias I, II, III e IV (Figura 9). Assim, frutos com classificação de Cor I apresentavam até 25% da área da epiderme com coloração vermelha e rajada. Já os classificados com Cor II apresentavam de 26 a 50%, os pertencentes à Cor III, de 51 a 75% e os categorizados na Cor IV apresentavam de 76 a 100% da área da epiderme com coloração vermelha e rajada.

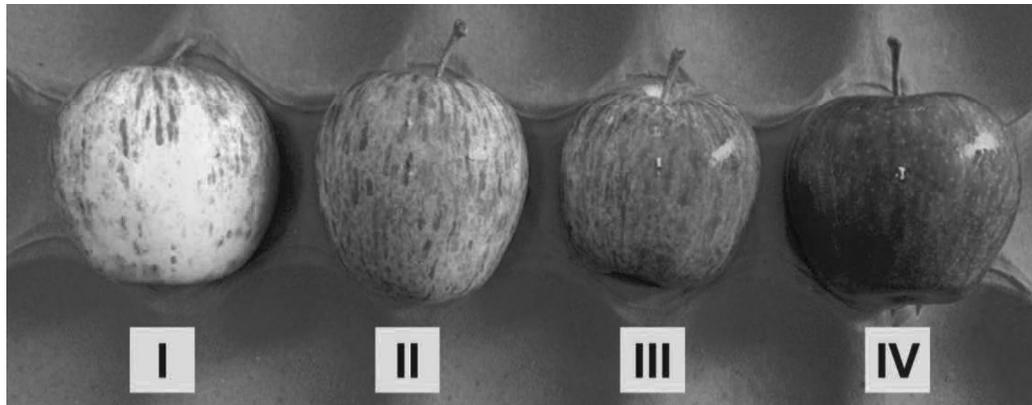


FIGURA 9. Categorias de coloração consideradas na avaliação visual.

Primeiramente, pesou-se cada maçã para obter a massa fresca média dos frutos de cada parcela. Para a avaliação da firmeza da polpa, cortou-se uma porção da epiderme em dois lados opostos da maçã. Com a polpa exposta, o fruto era posicionado abaixo do penetrômetro manual (Figura 10) e, acionando uma alavanca realizou-se a compressão na fruta, medindo a força necessária para vencer a resistência dos tecidos da polpa.

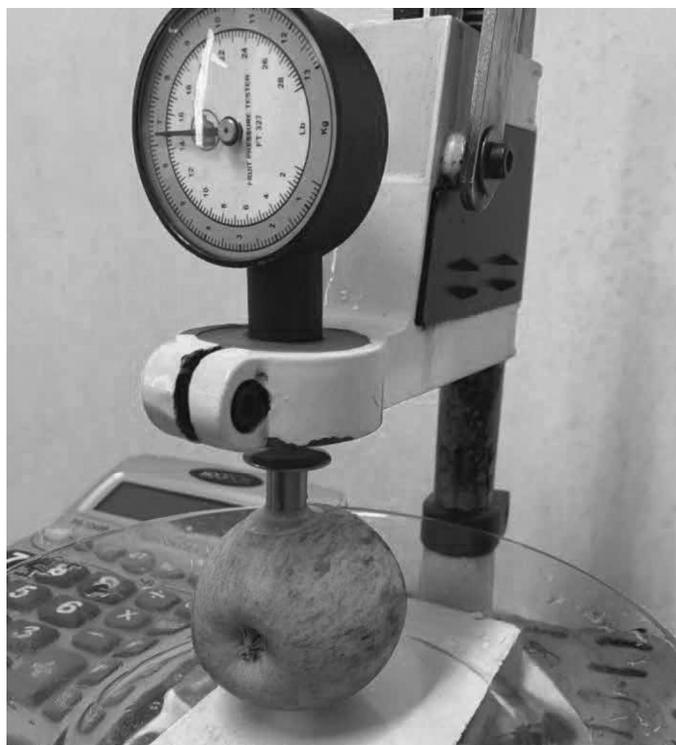


FIGURA 10. Avaliação da firmeza da polpa das maçãs com auxílio de penetrômetro manual.

Após a avaliação da massa fresca média dos frutos e da firmeza do fruto, foi realizada a medição do teor de sólidos solúveis totais (SST) com o auxílio de um refratômetro (Figura 11). Para a obtenção desse índice foram extraídas gotas de suco de cada um dos frutos e, então, a leitura do grau Brix da maçã era realizada.

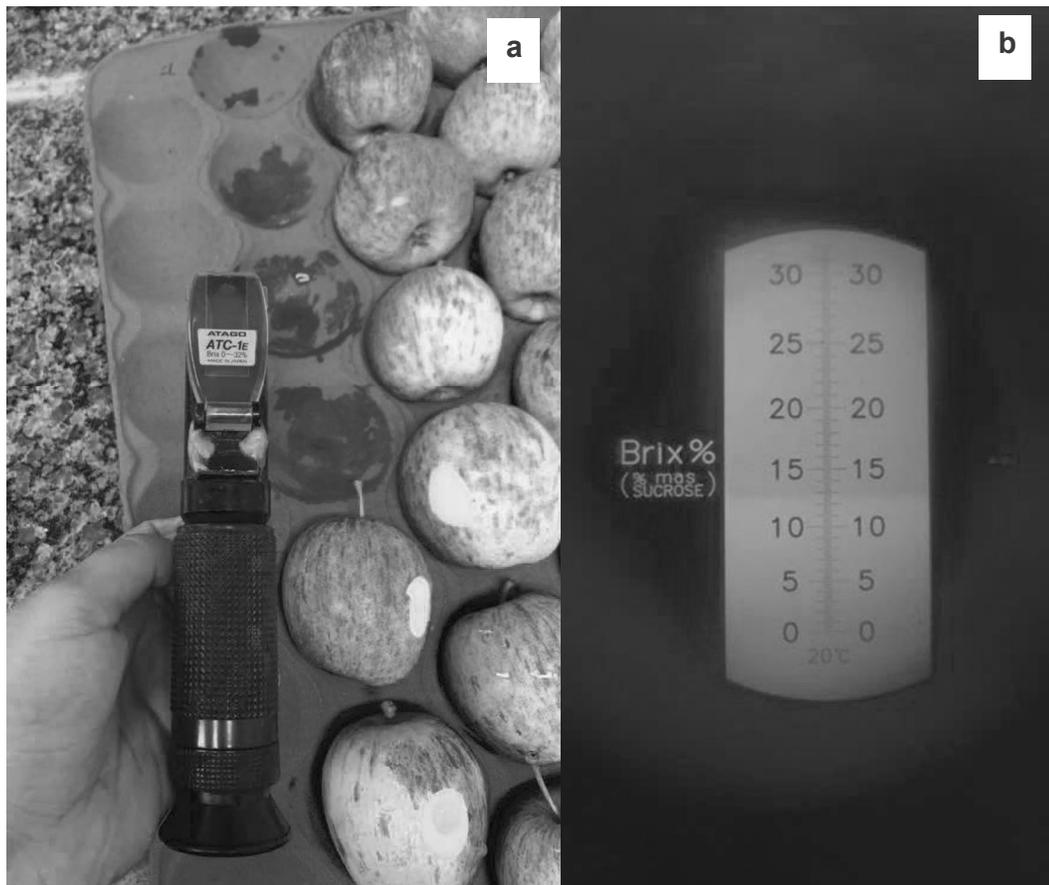


FIGURA 11. Medição de Sólidos Solúveis Totais em maçãs: refratômetro (a) e leitura do grau Brix do fruto (b).

Por fim, analisou-se o índice de iodo-amido de cada fruto. As frutas foram cortadas transversalmente e, então, uma das metades de cada fruta da amostra era imersa em solução aquosa de iodo até ter toda sua área coberta e então aguardava-se cerca de dois minutos até que essa solução fosse absorvida pelo fruto. Após, realizou-se a comparação da área de reação da maçã com a tabela apresentada na Figura 12.

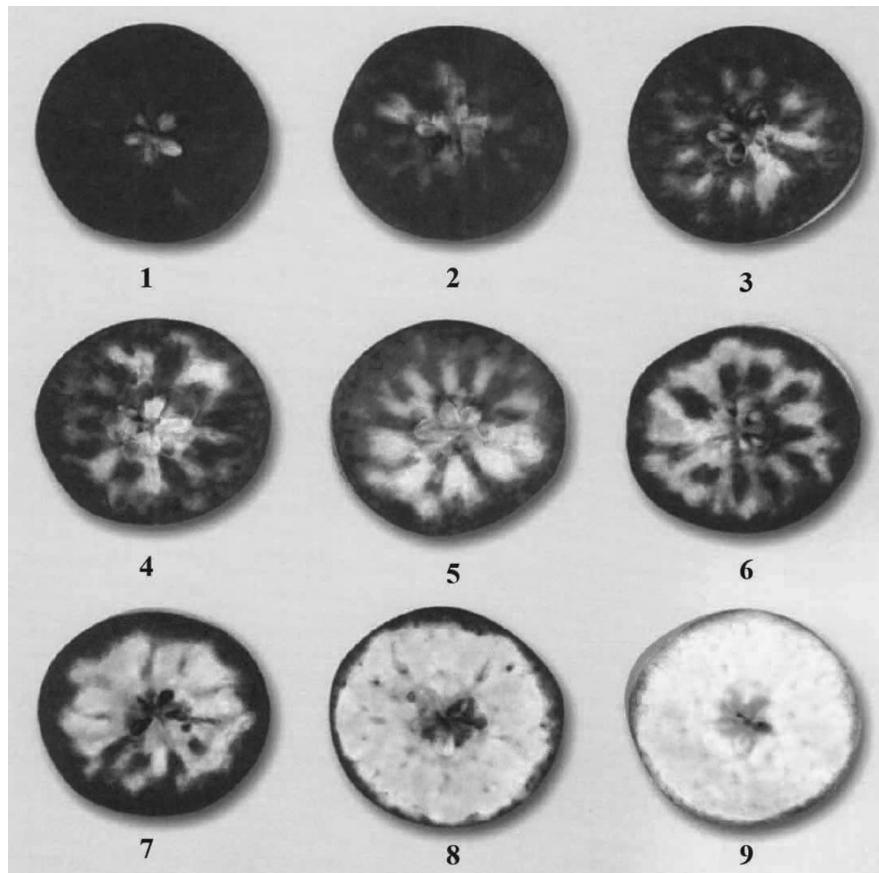


FIGURA 12. Tabela de iodo-amido para determinação da maturação dos frutos. Adaptado de Girardi, Sanhueza e Bender (2002).

3.8 Análise estatística

Previamente, os dados foram analisados quanto à presença de 'outliers', e na presença, os mesmos foram excluídos. Após, os resultados foram submetidos aos testes de normalidade e homogeneidade. Posteriormente, realizou-se a análise de variância (ANOVA) e a diferença entre as médias dos tratamentos avaliadas pelo teste de LSD ao nível de 5% para a variável produtividade. Para os valores de NDVI, foi avaliada a diferença entre médias pela diferença mínima significativa (DMS) pelo teste F a 5 % de probabilidade de erro.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na massa dos ramos podados durante a safra agrícola 2020/21, na área com 'Maxi Gala' enxertada em Marubakaido com filtro M9, o tratamento com poda mecanizada no outono foi o que apresentou a menor massa, tanto para ramos com um ano quanto para ramos de dois anos ou mais (Tabela 4). Na safra agrícola 2021/22, a poda mecanizada de outono apresentou a menor massa de ramos podados com um ano. No entanto, a época da realização da poda mecanizada não interferiu na massa de ramos podados com dois anos ou mais.

Na primeira safra agrícola analisada na área de 'Maxi Gala' enxertada em Marubakaido com filtro M9, a poda padrão foi o único tratamento que apresentou diferença significativa entre a massa de ramos podados com um e dois anos ou mais. Durante a segunda safra agrícola apenas a poda mecanizada no outono não apresentou diferença estatística. Os demais tratamentos com poda mecanizada apresentaram maior quantidade de ramos retirados com um ano, em comparação com ramos de dois anos ou mais. Ao contrário disso, a massa de ramos retirados com um ano foi menor do que a massa de ramos com dois anos ou mais, onde a poda padrão foi realizada (Tabela 4).

Na massa de ramos retirados das plantas de 'Maxi Gala' enxertadas com M9, independentemente da safra agrícola analisada, os diferentes tratamentos não apresentaram diferença significativa em relação aos ramos com um ano. Com relação à massa de ramos retirados com dois anos ou mais, houve diferenças entre a poda padrão e mecanizada, independente da época de execução, tanto para a safra agrícola de 2020/21 quanto para a de 2021/22. Ao comparar a massa de ramos retirados com um ano e dois anos ou mais, apenas a poda padrão apresentou diferença significativa, onde houve maior quantidade

de ramos retirados com dois anos ou mais, independentemente da safra agrícola analisada.

Independentemente dos porta-enxertos e safras avaliadas, o total de ramos retirados foi maior no método de poda padrão. Os resultados encontrados estão relacionados com o fato de que, no método de poda padrão, existe uma maior seleção de ramos, priorizando a retirada dos mais vigorosos e vegetativos, os quais normalmente são mais velhos na planta. Enquanto que no método da poda mecanizada, há a retirada dos ramos que estão fora da forma definida previamente, retirando-se, assim, aqueles que cresceram de uma safra para outra.

TABELA 4. Massa de ramos retirados com um ano e dois anos ou mais em 'Maxi Gala' enxertada em Marubakaido com filtro M9 e em M9, nas safras agrícolas de 2020/21 e 2021/22.

Safra	Tipo de poda	Ramos retirados de 1 ano (kg)	Ramos retirados de 2 anos ou mais (kg)	Total de ramos retirados (kg)
'Maxi Gala' enxertada em Marubakaido com filtro M9				
2020/2021	Padrão Produtor	1,12 a B	6,42 a A	7,54 a
	Mecanizada no outono	0,19 b NS	0,29 c	0,48 b
	Mecanizada no verão	0,68 a NS	0,69 b	1,37 b
	Mecanizada no outono e verão	0,89 a NS	0,79 b	1,68 b
2021/2022	Padrão Produtor	1,15 b B	5,19 a A	6,34 a
	Mecanizada no outono	0,32 c NS	0,35 b	0,67 b
	Mecanizada no verão	2,15 a A	0,68 b B	2,83 ab
	Mecanizada no outono e verão	1,59 ab A	0,44 b B	2,03 b
'Maxi Gala' enxertada em M9				
2020/2021	Padrão Produtor	1,09 ns B	2,83 a A	3,92 a
	Mecanizada no outono	0,31 NS	0,23 b	0,54 b
	Mecanizada no verão	0,34 NS	0,24 b	0,58 b
	Mecanizada no outono e verão	0,89 NS	0,85 b	1,74 ab
2021/2022	Padrão Produtor	1,15 ns B	4,10 a A	5,25 a
	Mecanizada no outono	0,41 NS	0,49 b	0,90 b
	Mecanizada no verão	1,43 NS	0,61 b	2,04 b
	Mecanizada no outono e verão	1,54 NS	0,72 b	2,26 b

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de LSD ($p < 0,05$); ns= não significativo.

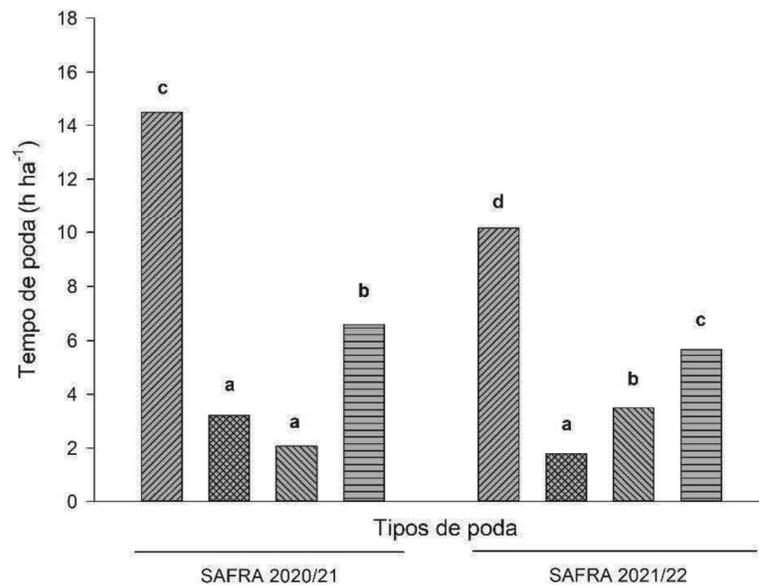
Concordando com isso, foi observado durante as duas safras agrícolas avaliadas que nos tratamentos com poda mecanizada, independente da época de realização, havia maior incidência de ramos vegetativos (Figura 13). Tais ramos, também chamados de “ladrões”, competem diretamente com os ramos produtivos por fotoassimilados e, normalmente, são suprimidos no método tradicional de poda (poda padrão).



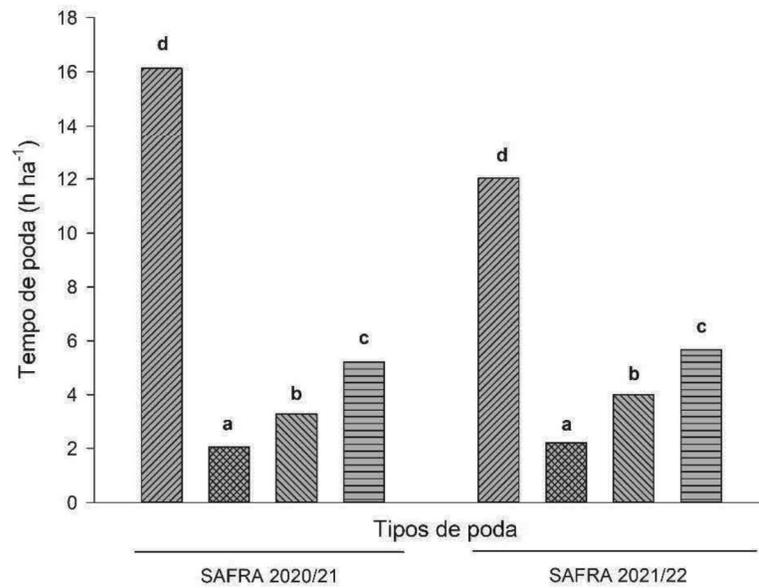
FIGURA 13. Ramos vegetativos observados nos tratamentos com poda mecanizada.

O tempo de poda em horas por hectare (Figura 14) de cada tratamento é uma informação importante, uma vez que tradicionalmente é uma atividade onerosa e realizada de forma manual (T2 – poda padrão), influenciando diretamente no custo operacional de um pomar comercial. Independente do ano e do porta-enxerto utilizado, os tratamentos com poda mecanizada, com destaque na poda no outono (T3), apresentaram uma diminuição significativa no tempo necessário para podar um hectare. Desta forma, a poda mecanizada, independente do momento de realização, possibilitou podar mais hectares por um tempo menor, possibilitando otimização de recursos humanos e financeira da propriedade.

a



b



 Poda padrão
 Poda mecanizada no outono
 Poda mecanizada no verão
 Poda mecanizada no outono e verão

FIGURA 14. Tempo (h ha^{-1}) necessário para podar pomar de 'Maxi Gala' enxertada em M9 (a) e Marubakaido com filtro M9 (b) nos diferentes tipos de poda, nas safras 2020/21 e 2021/22.

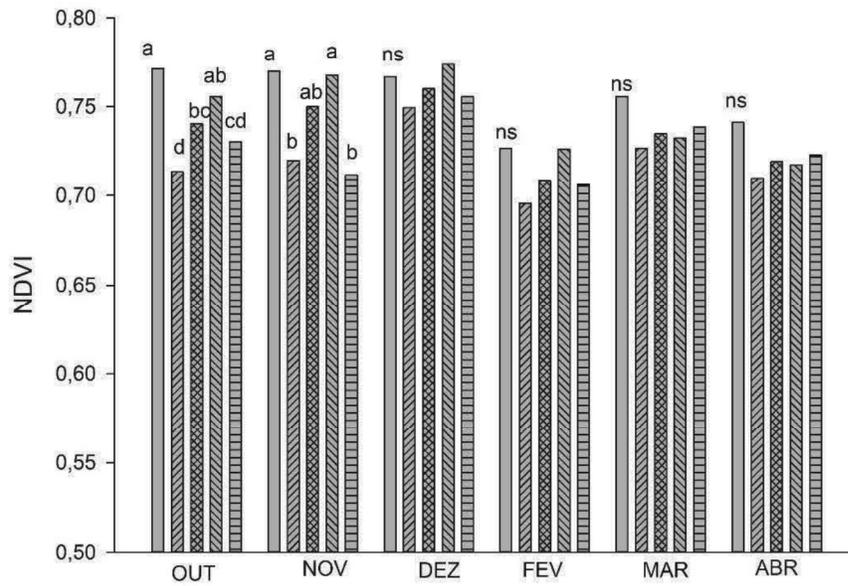
O NDVI é uma ferramenta que estima o teor de clorofila e a produção de biomassa do dossel vegetativo, sanidade e desenvolvimento das plantas. Em plantas de 'Maxi Gala' enxertadas em Marubakaido com filtro M9 no primeiro ano

agrícola, as duas primeiras datas de avaliação apresentaram diferença estatística entre os tratamentos para o NDVI, porém para as demais datas de avaliação não houve diferença significativa.

Nas datas de avaliação em outubro e novembro, o tratamento sem poda apresentou maiores valores de NDVI, seguido do tratamento com poda mecanizada no verão (Figura 15). Estes picos de NDVI estão relacionados ao pico de crescimento vegetativo das plantas, como constatado por Kong e Wu (2021). Apesar disso, maior produção de biomassa destes tratamentos não se converteu em maior rendimento de frutos de maçã, uma vez que as podas podem aumentar ou não o vigor dos ramos, mas não alterar a produção de frutos (SCARPARE FILHO; MEDINA; SILVA, 2011).

Quando se avalia a safra 2021/22 verifica-se que, devido ao estresse hídrico ocasionado pelo fenômeno meteorológico La Niña, as primeiras avaliações do NDVI não apresentaram diferenças estatísticas. Somente na avaliação de fevereiro/22, sendo que o tratamento de poda mecanizada de verão apresentou maior NDVI, quando comparado com os demais. Segundo Kong e Wu (2021), a correlação entre a deficiência hídrica e a escassez de água influencia na capacidade fotossintética e de acúmulo de nutrientes, podendo até resultar na queda dos frutos e folhas.

a



b

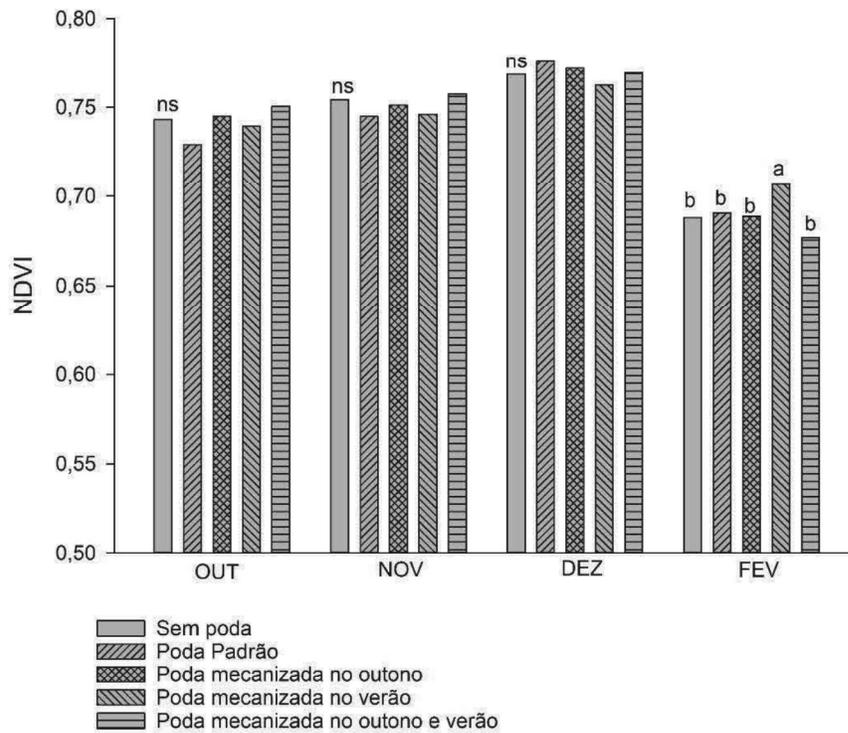


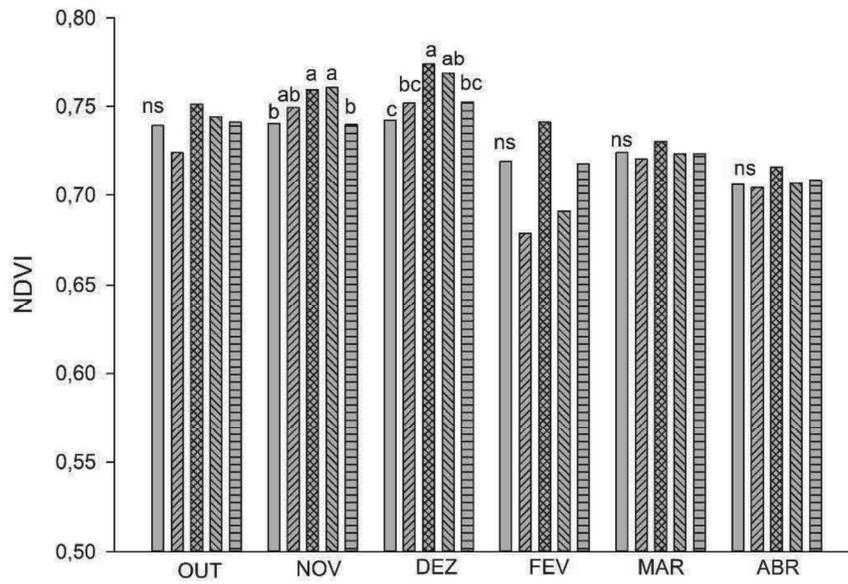
FIGURA 15. Dinâmica temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) obtido a partir de sensor óptico ativo, em função das datas de avaliação de 'Maxi Gala' enxertada em Marubakaido com filtro M9, nos anos agrícolas 2020/21 (a) e 2021/22 (b).

Ao se avaliar as plantas de 'Maxi Gala' enxertadas diretamente em M9 no primeiro ano agrícola, ao contrário do observado nas plantas enxertadas em Marubakaido com filtro M9, as avaliações de NDVI só apresentaram diferenças estatísticas nas avaliações de novembro e dezembro (Figura 16). Sendo que em ambos os meses o tratamento com poda mecanizada no outono se destacou com maior NDVI, seguido do tratamento com poda mecanizada no verão. Tais resultados se assemelham aos encontrados por Dalezios, Loukas e Bampzelis (2002), que justificam estes maiores NDVI em estádios de maior demanda e produção de biomassa em macieiras.

Já, na segunda safra agrícola, devido a continuidade do fenômeno meteorológico La Niña que ocasionou estresse hídrico em momentos críticos de desenvolvimento da cultura da macieira, o NDVI não apresentou diferenças e variações nos primeiros meses de avaliação em plantas de 'Maxi Gala' enxertadas em M9. Somente no mês de fevereiro de 2022 se observou diferença estatística entre os tratamentos, sendo os que mais se destacaram com maior NDVI foram os tratamentos com poda padrão e poda mecanizada no outono, e o pior tratamento para avaliação de NDVI, neste ano, foi o tratamento com poda mecanizada no outono e verão.

Segundo Mihaljević *et al.* (2021) e Kim e Glenn (2017), a produção de biomassa e teor de clorofila de plantas de macieiras são reduzidos drasticamente sob estresse hídrico, que, por sua vez, se reflete em menores valores e/ou NDVI mais uniformes, uma vez que o mesmo indica a sanidade e produção de biomassa das plantas. Essas informações podem ser confirmadas analisando os dados apresentados nas Figuras 15 e 16.

a



b

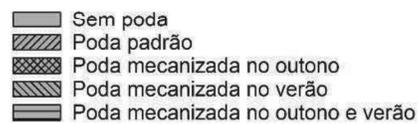
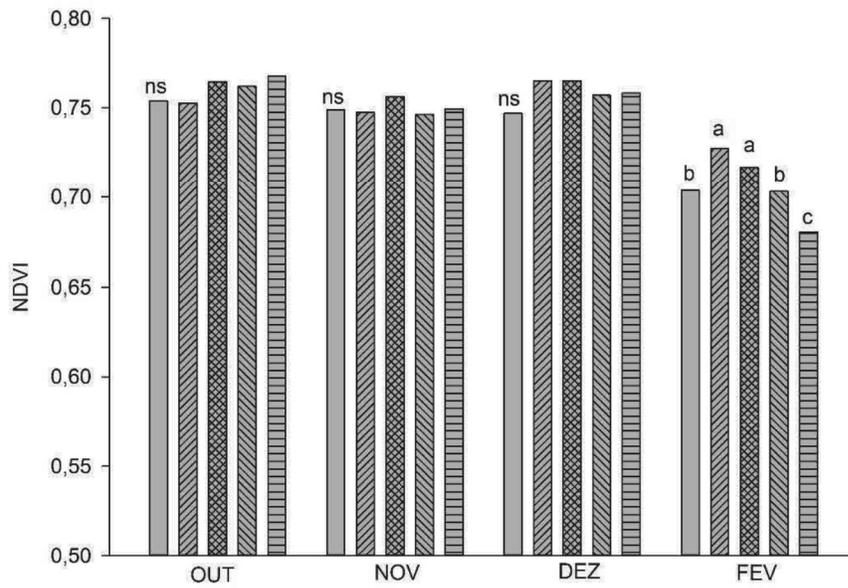


FIGURA 16. Dinâmica temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) obtido a partir de sensor óptico ativo, em função das datas de avaliação de 'Maxi Gala' enxertada em M9, nos anos agrícolas 2020/21 (a) e 2021/22 (b).

Independentemente do tratamento e da safra avaliada, o rendimento de frutos foi superior ao encontrado na literatura. O rendimento de frutos de maçã obtido por Lima *et al.* (2019) foi de 42,4 t ha⁻¹ e 37,2 t ha⁻¹, nas safras agrícolas de 2017/18 e 2018/19. Já Faoro *et al.* (2022) relatam produtividades abaixo de 40 t ha⁻¹ durante a avaliação de diversas safras agrícolas. De acordo com a Figura 17, tanto na safra de 2020/21 quanto na de 2021/22 não foram constatadas diferenças significativas entre tratamentos quanto ao rendimento de frutos em t ha⁻¹.

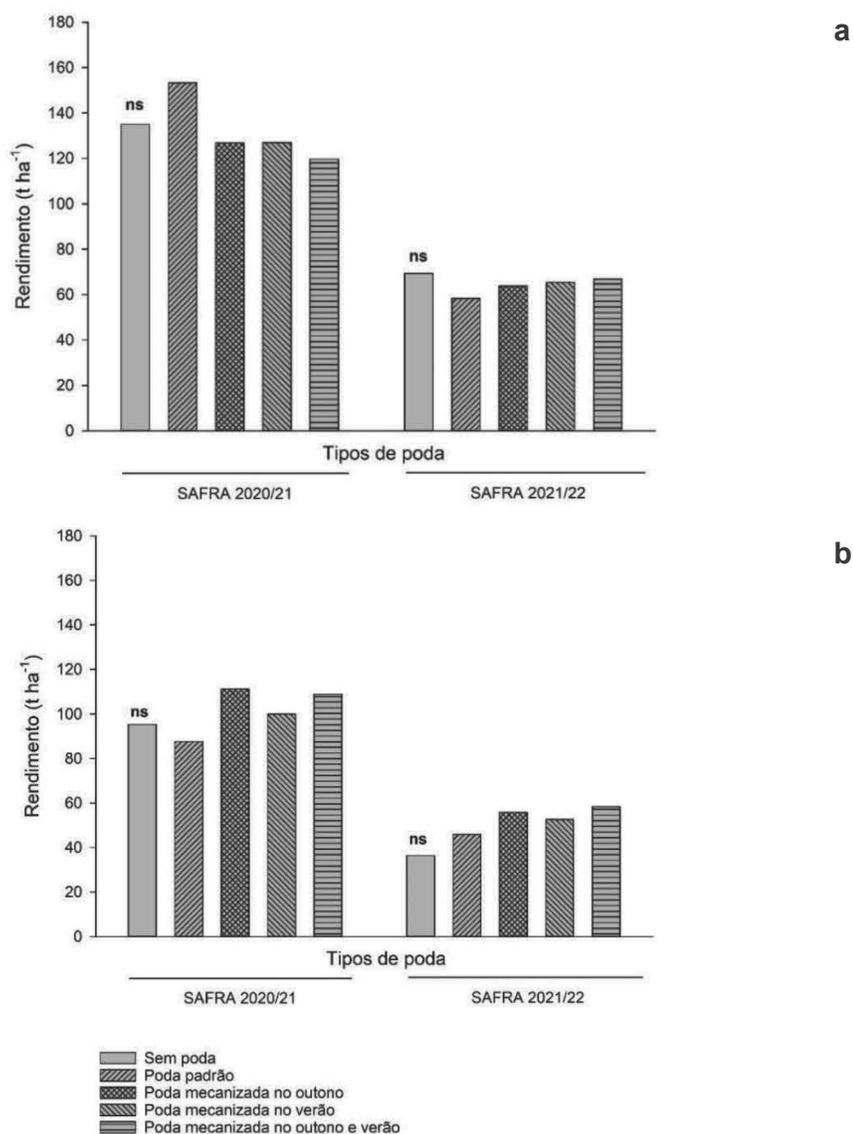


FIGURA 17. Rendimento (t ha⁻¹) de 'Maxi Gala' enxertada em M9 (a) e Marubakaido com filtro M9 (b) nos diferentes tipos de poda, nas safras 2020/21 e 2021/22.

Conforme a Figura 18, a precipitação anual para o município de Vacaria (RS) é de aproximadamente 1740 mm. Entre os anos agrícolas avaliados, observou-se uma redução no rendimento dos frutos. Em razão da severa restrição hídrica evidenciada no ciclo 2021/22, houve redução significativa no rendimento de frutos. O fenômeno meteorológico La Niña reduziu em aproximadamente 250 mm o acumulado de precipitação anual para a segunda safra avaliada.

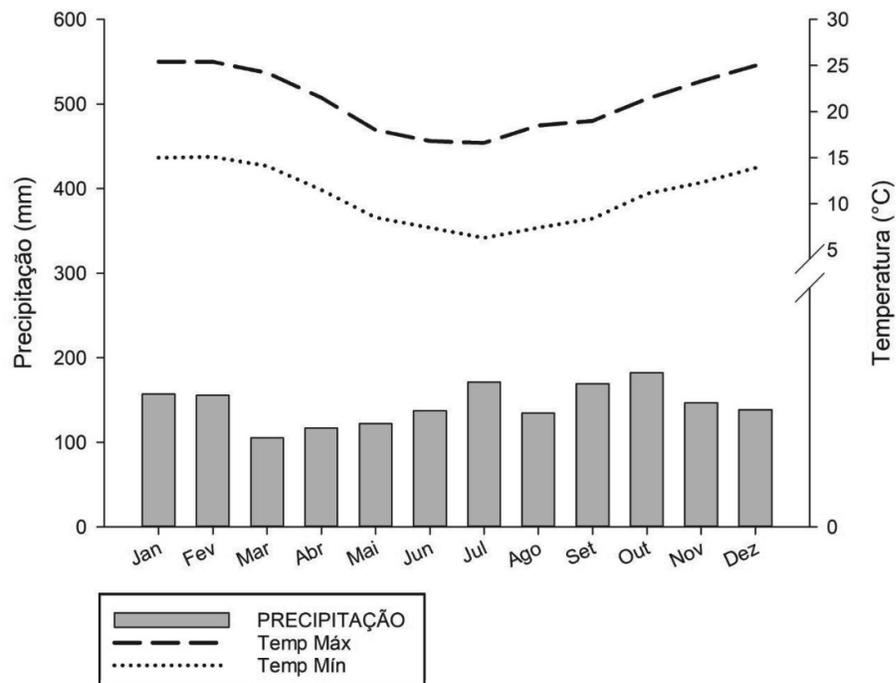


FIGURA 18. Normal climática (1981-2010) do município de Vacaria-RS. Fonte: INMET (A880).

Os resultados encontrados são semelhantes com os encontrados por Lopez *et al.* (2018) e Glenn e Tabb (2018), onde plantas de maçãs submetidas a estresse hídrico produziram menos frutos e frutos mais leves, resultando na redução do rendimento de frutos por hectare. E, também corroboram com os encontrados por Hampson, Quamme e Brownlee (2002), que testaram durante oito anos diferentes manejos de podas com diferentes densidades de plantas, e durante as oitos safras os diferentes manejos da poda na macieira não influenciaram no rendimento de frutos.

Conforme Lopez *et al.* (2018), plantas de maçãs submetidas ao estresse por seca moderada e severa apresentam menores rendimentos. Assim, pode-se compreender as reduções do rendimento de uma safra para outra, independentemente dos porta-enxertos utilizados na 'Maxi Gala'. Além disso, mesmo utilizando um método de poda diferente do comum, as plantas não apresentaram prejuízos no rendimento, independente da época e a safra em que o manejo foi realizado.

Segundo a Tabela 5 com exceção da categoria 1 dos frutos de 'Maxi Gala' enxertados em Marubakaido com filtro M9 na safra agrícola de 2020/21, as demais categorias não diferiram estatisticamente independente do tratamento, porta-enxerto e safra agrícola avaliada. Sob o porta-enxerto Marubakaido com filtro M9, os frutos provenientes do tratamento com poda mecanizada no outono e verão apresentaram maior porcentagem de categoria 1, em comparação com os demais tratamentos. Esse resultado é contrário ao obtido por Guerra *et al.* (2021), onde apenas a poda de verão foi capaz de trazer melhorias na qualidade dos frutos, mostrando que aparentemente a realização tanto no outono como no verão pode trazer benefícios para a categoria de frutos de macieira.

TABELA 5. Classificação dos frutos (%) de 'Maxi Gala' enxertadas em Marubakaido com filtro M9 e em M9 nas categorias 1, 2, 3, 4 e 5, nas safras 2020/21 e 2021/22.

Saфра	Tratamento	Categorias				
		Cat 1	Cat 2	Cat 3	Cat 4	Cat 5
'Maxi Gala' enxertada em Marubakaido com filtro M9						
20/21	Testemunha	60,0 b	21,2 ns	10,0 ns	8,7 ns	0,0 ns
	Padrão Produtor	58,7 b	27,5	7,5	5,0	1,2
	Mecanizada Outono	68,7 ab	13,7	11,2	6,2	0,0
	Mecanizada Verão	62,5 b	20,0	13,7	2,5	1,2
	Mecanizada Outono e verão	85,0 a	6,2	5,0	3,7	0,0
21/22	Testemunha	61,2 ns	27,5 ns	7,5 ns	1,2 ns	2,5 ns
	Padrão Produtor	63,7	25,0	5,0	2,5	3,7
	Mecanizada Outono	51,2	31,2	12,5	3,7	1,2
	Mecanizada Verão	42,5	30,0	11,2	7,5	8,7
	Mecanizada Outono e verão	61,2	25,0	7,5	3,7	2,5
'Maxi Gala' enxertada M9						
20/21	Testemunha	63,7 ns	31,2 ns	5,00 ns	0,0 ns	0,0 ns
	Padrão Produtor	56,2	36,2	5,0	2,5	0,0
	Mecanizada Outono	68,7	23,7	7,5	0,0	0,0
	Mecanizada Verão	63,7	28,7	5,0	2,5	0,0
	Mecanizada Outono e verão	58,7	31,2	7,5	2,5	0,0
21/22	Testemunha	35,0 ns	18,7 ns	18,7 ns	21,2 ns	6,2 ns
	Padrão Produtor	43,7	26,2	16,2	6,2	7,5
	Mecanizada Outono	40,0	28,7	25,0	6,2	0,0
	Mecanizada Verão	27,5	20,0	26,2	20,0	6,2
	Mecanizada Outono e verão	32,5	28,7	10,0	16,2	12,5

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de LSD ($p < 0,05$); ns= não significativo.

A influência das diferentes estratégias de manejo da poda em 'Maxi Gala' enxertadas em Marubakaido com filtro M9 e em M9 na coloração dos frutos (%), observa-se que independente da safra agrícola analisada, a variação da poda não influenciou neste parâmetro (Tabela 6). Desta forma, pode-se afirmar que a realização da poda mecanizada independente do momento, seja no verão, outono ou em ambos, possibilita uma coloração de frutos similar à estratégia de poda atualmente utilizada pelos produtores. Lugaresi *et al.* (2022), encontraram que podas realizadas no verão em plantas de 'Fuji', em dezembro no município de São Joaquim-SC, também não apresentaram diferença entre a testemunha na coloração de frutos.

Contudo, na primeira safra agrícola para plantas de Maxi Gala' enxertadas em M9, as podas mecanizadas no outono e poda mecanizada no outono e verão possibilitaram piores coloração de frutos. Lugaresi *et al.* (2022) e Crowe (1978)

observaram que a realização da poda de verão mais tardia, em janeiro e fevereiro, possibilitou melhoria na coloração de frutos, de coloração mais vermelha.

TABELA 6. Avaliação da coloração dos frutos (%) 'Maxi Gala' enxertadas em Marubakaido com filtro M9 e em M9 nas categorias I, II, III e IV, nas safras 2020/21 e 2021/22.

Safr	Tratamento	Categorias			
		I	II	III	IV
'Maxi Gala' enxertada em Marubakaido com filtro M9					
20/21	Testemunha	0,0 ns	8,7 ns	30,0 ns	61,2 ns
	Padrão Produtor	1,2	8,7	22,5	67,5
	Mecanizada Outono	0,0	6,2	22,5	71,2
	Mecanizada Verão	1,2	6,2	27,5	65,0
	Mecanizada Outono e verão	0,0	1,25	11,2	87,5
	CV (%)	329,1	100,1	56,3	18,0
21/22	Testemunha	2,5 ns	13,7 ns	35,0 ns	48,7 ns
	Padrão Produtor	0,0	6,2	12,5	76,2
	Mecanizada Outono	0,0	0,0	26,2	73,7
	Mecanizada Verão	0,0	6,2	22,5	71,2
	Mecanizada Outono e verão	0,0	3,7	16,2	80,0
	CV (%)	447,2	203,3	45,8	27,0
'Maxi Gala' enxertada M9					
20/21	Testemunha	0,0 b	11,2 ns	31,2 ns	57,5 ns
	Padrão Produtor	0,0 b	15,0	27,5	57,5
	Mecanizada Outono	3,7 a	7,5	26,2	62,5
	Mecanizada Verão	0,0 b	16,2	35,0	48,7
	Mecanizada Outono e verão	2,5 a	20,0	31,2	46,2
	CV (%)	126,5	84,8	44,0	38,5
21/22	Testemunha	3,7 ns	11,2 ns	25,0 ns	60,0 ns
	Padrão Produtor	1,2	6,2	17,5	75,0
	Mecanizada Outono	0,0	3,7	20,0	76,2
	Mecanizada Verão	1,2	2,5	30,0	66,2
	Mecanizada Outono e verão	0,0	5,0	21,2	73,7
	CV (%)	209,8	116,4	45,7	16,0

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de LSD ($p < 0,05$); ns= não significativo.

Em relação à massa fresca média dos frutos, independentemente das safras agrícolas e os porta-enxertos analisados, não houve diferença significativa entre os tratamentos avaliados (TABELA 7. Avaliação da qualidade pós-colheita dos frutos de 'Maxi Gala' enxertadas em Marubakaido com filtro M9 e em M9, nas safras 2020/21 e 2021/22.. Segundo Bound e Summers (2001) o peso do fruto não modificou com a variação da poda em plantas de macieiras, resultados que corroboram com os encontrados. Entretanto, Sharma (2014)

encontrou resultados contrastantes, onde a variação da intensidade da poda ocasionou frutos maiores e mais pesados.

Para o parâmetro sólidos solúveis totais (SST), somente no segundo ano agrícola em plantas de 'Maxi Gala' enxertada em Marubakaido com filtro M9, constatou-se diferença estatística de acordo com a variação do manejo da poda. A poda padrão (T2) apresentou o maior SST, seguida da testemunha (T1) e da poda mecanizada no outono (T3), não diferindo estatisticamente entre si, conforme TABELA . Segundo Bound e Summers (2001) os sólidos solúveis totais (SST) dos frutos também aumentaram com a severidade da poda no outono-inverno, porém o inverso foi verdadeiro para as árvores podadas na primavera. Contudo, Lugaresi *et al.* (2022) e Almeida e Fioravanço (2018) encontraram resultados que corroboram com os encontrados, onde a variação da poda não proporcionou variação estatística nos sólidos solúveis totais (TABELA).

Quando se analisou o parâmetro da firmeza de polpa dos frutos, somente as plantas de 'Maxi Gala' enxertadas em M9 conduzidas durante a segunda safra agrícola, apresentou diferença estatística entre os tratamentos. A testemunha foi o tratamento que possibilitou a polpa de fruta mais firme, logo após o tratamento com poda mecanizada de verão (TABELA 7). Segundo Guerra *et al.* (2021) os frutos das árvores podadas apresentaram menor taxa de firmeza do que os frutos controle, sem poda, na colheita. Entretanto, as plantas 'Maxi Gala' enxertadas em Marubakaido com filtro M9 nas duas safras e 'Maxi Gala' enxertada em M9 na primeira safra não apresentaram diferença estatística entre os tratamentos (Tabela 7). Resultados estes que corroboram com os encontrados por Guerra e Casquero (2010) e Sharma (2014), onde o parâmetro firmeza não variou de acordo com a variação das estratégias de manejo da poda.

A análise do iodo-amido visa determinar o estágio de maturação do fruto. As plantas de 'Maxi Gala' enxertadas em Marubakaido com filtro M9 na primeira safra apresentaram diferença estatística entre os tratamentos. Os frutos oriundos do tratamento com poda manual apresentaram maturação avançada do que os demais tratamentos, seguido do tratamento com poda mecanizada no outono. Entretanto, para a segunda safra e para as plantas de 'Maxi Gala' enxertadas em M9, independente do ano de cultivo, não apresentaram diferença entre os tratamentos para a avaliação do iodo-amido (TABELA 7). Estes resultados vão ao encontro dos resultados encontrados por Djordjević, Djurović e Zec (2019), e

Guerra *et al.* (2021), onde a variação do manejo da poda não influenciou no teste de iodo-amido.

TABELA 7. Avaliação da qualidade pós-colheita dos frutos de 'Maxi Gala' enxertadas em Marubakaido com filtro M9 e em M9, nas safras 2020/21 e 2021/22.

Safra	Tratamento	Massa fresca média (g)	SST (°Brix)	Firmeza (lbs)	Iodo-Amido (1-9)
'Maxi Gala' enxertada em Marubakaido com filtro M9					
20/21	Testemunha	131,6 ns	11,9 ns	14,2 ns	5,8 b
	Padrão Produtor	125,3	12,0	13,0	7,4 a
	Mecanizada Outono	128,3	11,9	13,8	6,5 ab
	Mecanizada Verão	130,5	11,7	14,0	6,1 b
	Mecanizada Outono e verão	126,6	11,8	14,3	6,1 b
21/22	Testemunha	132,2 ns	15,1 ab	15,3 ns	7,0 ns
	Padrão Produtor	122,5	15,8 a	15,7	6,5
	Mecanizada Outono	138,4	15,0 ab	14,5	7,5
	Mecanizada Verão	129,8	14,2 bc	14,0	7,3
	Mecanizada Outono e verão	135,6	14,0 c	14,6	7,1
'Maxi Gala' enxertada em M9					
20/21	Testemunha	123,4 ns	11,5 ns	16,5 ns	4,1 ns
	Padrão Produtor	121,7	11,3	16,2	4,2
	Mecanizada Outono	127,3	11,3	16,5	3,9
	Mecanizada Verão	123,9	11,2	16,6	3,5
	Mecanizada Outono e verão	131,9	11,3	16,6	3,5
21/22	Testemunha	122,8 ns	15,1 ns	17,4 a	5,5 ns
	Padrão Produtor	135,0	14,8	15,7 bc	6,5
	Mecanizada Outono	141,1	15,3	16,3 abc	5,0
	Mecanizada Verão	126,6	15,1	17,0 ab	5,6
	Mecanizada Outono e verão	131,5	14,8	15,2 c	6,4

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de LSD ($p < 0,05$); ns= não significativo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O NDVI é influenciado nos estádios de maior produção de biomassa das plantas de macieiras, porém nas safras com déficit hídrico o NDVI é limitado pela falta de água.

Independente do porta-enxerto e da época de sua realização, o método de poda mecanizada possibilitou rendimento de frutos igual ao método padrão e tradicional realizado atualmente pelo produtor.

De maneira geral, a poda mecanizada nas diferentes épocas de realização não influencia nos parâmetros de qualidade de maçãs 'Maxi Gala' enxertadas em M9 e Marubakaido com filtro M9.

A poda mecanizada independente da época de execução mostra-se mais rápida em comparação com a poda padrão. Dente as épocas de realização dessa prática, a poda mecanizada realizada no outono reduz em até 80% o tempo necessário para podar um hectare.

A maior parte dos ramos suprimidos na poda mecanizada, em todas as épocas executadas, são ramos que apresentam menor vigor e que estão localizados longe do caule da planta.

É necessário revisar as áreas onde a poda mecanizada foi realizada com o intuito de retirar eventuais ramos doentes, que servem como fonte de inóculo para o restante da área, além de retirar os ramos vegetativos, os quais competem com ramos produtivos por fotoassimilados.

6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, G. K.; FIORAVANÇO, J. C. Yield of 'Royal Gala' apple trees in response to pruning before or after leaf drop. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 53, n. 4, p. 427-434, abr. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2018000400004>. Acesso em: 03 jun. 2022.

AMARAL, L. R.; MOLIN, J. P. Sensor óptico no auxílio a recomendação de adubação nitrogenada em cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 12, p. 1633- 1642, 2011.

BATCHELOR, B. *et al.* **Precision agriculture**: introduction to precision agriculture. Iowa: Cooperative Extension, 1997.

BLEICHER, J. História da macieira. *In*: EPAGRI. (ed.). **A cultura da macieira**. Florianópolis: Epagri, 2006. cap. 1, p. 29-36.

BOUND, S. A.; SUMMERS, C. R. The effect of pruning level and timing on fruit quality in red 'Fuji' apple. **Acta Horticulture**, The Hague, n. 557, p. 295-302, July 2001. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.2001.557.38>. Acesso em: 29 maio 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 5, de 9 de fevereiro de 2006. Aprovar o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade da Maçã. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 9 set. 2006. Disponível em: <http://www.cidasc.sc.gov.br/classificacao/files/2012/08/INM00000005.pdf>. Acesso em: 18 maio 2022.

CORDEIRO, D. G. *et al.* **Utilização do equipamento penetrômetro de cone para identificação dos níveis de compactação do solo**. Rio Branco: Embrapa, 1998. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/492528/1/it15.pdf>. Acesso em: 29 maio 2022.

CROWE, A. D. Containment pruning in mature high intensity apple orchards: effects of time of year and of tree form. **Acta Horticulture**, The Hague, n. 65, p. 181-182, June 1978. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.1978.65.27>. Acesso em: 13 jun. 2022.

CTPim - COMISSÃO TÉCNICA PARA A PRODUÇÃO INTEGRADA DE MAÇÃ. **Grade de agrotóxicos e agroquímicos da PIM - produção integrada de maçã: ciclo 2020/21.** Bento Gonçalves: Embrapa, 2020. (Comunicado técnico, 215).

DALEZIOS, N. R.; LOUKAS, A.; BAMPZELIS, D. Assessment of NDVI and agrometeorological indices for major crops in central Greece. **Physics and Chemistry of the Earth. Parts A/B/C**, Oxford, v. 27, n. 23/24, p. 1025-1029, Jan. 2002. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/s1474-7065\(02\)00138-9](http://dx.doi.org/10.1016/s1474-7065(02)00138-9). Acesso em: 03 jun. 2022.

DALLMEYER, A. U.; SCHLOSSER, J. F. Mecanización para la agricultura de precisión. *In*: BLU, R. O.; MOLINA, L. F. **Agricultura de precisión - Introducción al manejo sitioespecífico.** Chillán: INIA, 1999. cap. 3, p. 75-104.

DJORDJEVIĆ, B.; DJUROVIĆ, D.; ZEC, G. Effects of different times of summer pruning to productivity and fruits quality of apple cultivar gala brookfield. **Annals of the University of Craiova - Agriculture, Montanology**, Craiova, v. 49, n. 1, p. 26-28, Oct. 2019.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Produção integrada de maçã: Integrando pesquisadores, técnicos e produtores em uma oportunidade de aprendizado.** Brasília, DF: Embrapa, 2017. 34 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1091763/1/COLECAOSISTEMATIZACAOEXPERIENCIASvol20.pdf>. Acesso em: 25 maio 2022.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de segurança e qualidade para a cultura da maçã.** Brasília, DF: Embrapa, 2004. 81 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/18220/1/MANUALSEGURANCAQUALIDADEParaaculturadamaca.pdf>. Acesso em: 29 maio 2022.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Tecnologia em mecanização no Brasil: equipamentos e sistemas para o futuro. *In*: SEMINÁRIO TEMÁTICO DA EMBRAPA., 1., 1997, Sete Lagoas. [**Anais**]. Sete Lagoas: Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, 1997. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/478851/tecnologia-em-mecanizacao-no-brasil-equipamentos-e-sistemas-para-o-futuro>. Acesso em: 08 jul. 2019.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Faostat.** [Base de Dados]. Rome: FAO, 2020. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#home>. Acesso em: 01 jun. 2022.

FAORO, I. D. *et al.* **Maçãs do grupo 'Gala' no Brasil.** Florianópolis: Epagri, 2022.

FORSHEY, C. G. **Training and pruning apple trees.** 112nd ed. Geneva: Cornell Cooperative Extension Publication, 1976. 24 p. Disponível em:

<https://ecommons.cornell.edu/bitstream/handle/1813/17817/IB%20112.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. Acesso em: 01 jun. 2022.

FRANCESCATTO, P. **Desenvolvimento das estruturas reprodutivas da macieira (*Malus domestica* Borkh.) sob diferentes condições climáticas: da formação das gemas à colheita dos frutos**. 2014. 239 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/128818/330272.pdf?sequence=1&is>. Acesso em: 30 maio 2022.

FUJIWARA, C. H. **Desenvolvimento de um sensor de condutividade para a determinação do tempo de resposta de um sistema de pulverização agrícola com injeção direta**. 2015. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015. Disponível em: <http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180450/tce-14032016-154553/?&lang=br>. Acesso em: 12 maio 2022.

GIRARDI, C. L. *et al.* Fatores pré-colheita que interferem na qualidade da fruta. *In: GIRARDI, César Luis et al. (ed.). Maçã: pós-colheita*. Brasília, DF: Embrapa, 2004. cap. 3, p. 25-31.

GIRARDI, C. L.; SANHUEZA, R. M. V.; BENDER, R. J. **Manejo pós-colheita e rastreabilidade na produção integrada de maçãs**. Bento Gonçalves: Embrapa, 2002. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/536579/1/cir031.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2022.

GIRARDI, C.; BENDER, R. J. Colheita e pós-colheita. *In: PRODUÇÃO integrada de maçãs no Brasil*. Bento Gonçalves: EMBRAPA Uva e Vinho, 2003. (Sistema de Produção, 1). Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Maca/ProducaoIntegradaMaca/index.htm>. Acesso em: 08 jul. 2019.

GLENN, D. M.; TABB, A. Evaluation of five methods to measure Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in apple and citrus. **International Journal of Fruit Science**, Binghamton, v. 19, n. 2, p. 191-210, Aug. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/15538362.2018.1502720>. Acesso em: 03 jun. 2022.

GUERRA, M. *et al.* Summer pruning, an eco-friendly approach to controlling bitter pit and preserving sensory quality in highly vigorous apple cv. 'Reinette du Canada'. **Agriculture**, Basel, v. 11, n. 11, [art.] 1081, Nov. 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture11111081>. Acesso em: 03 jun. 2022.

GUERRA, M.; CASQUERO, P. A. Summer pruning: an ecological alternative to postharvest calcium treatment to improve storability of high quality apple cv. 'Reinette du Canada'. **Food Science and Technology International**, Thousand Oaks, v. 16, n. 4, p. 343-350, Aug. 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1177/1082013210366977>. Acesso em: 03 jun. 2022.

HAMPSON, C. R.; QUAMME, H. A.; BROWNLEE, R. T. Canopy growth, yield, and fruit quality of 'Royal Gala' apple trees grown for eight years in five tree training systems. **Hortscience**, Alexandria, VA, v. 37, n. 4, p. 627-631, July 2002.

HAWERROTH, F. J. **Uso de fitorreguladores para controle do desenvolvimento vegetativo e aumento da frutificação em macieira e pereira**. 2010. 158 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2010. Disponível em: http://guaiaca.ufpel.edu.br/bitstream/123456789/2134/1/Tese_Fernando_Jose_Hawerroth.pdf. Acesso em: 01 jun. 2022.

HE, L.; SCHUPP, J. Sensing and automation in pruning of apple trees: a review. **Agronomy**, Basel, v. 8, n. 10, [art.] 211, [p. 1-18], Sept. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy8100211>. Acesso em: 13 maio 2022.

HOFFMAN, A.; BERNARDI, J. Aspectos botânicos. *In*: NACHTIGALL, Gilmar Ribeiro. **Maçã: produção**. Brasília, DF: Embrapa, 2004. cap. 3. p. 17-24. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21273/hortsci.37.4.627>. Acesso em: 08 maio 2022.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal (PAM):** tabela 6.21 - Rio Grande do Sul. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=resultados>. Acesso em: 23 maio 2022.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Dados meteorológicos**. Brasília, DF: INMET, 2022. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 10 jul. 2022.

IRRIGAT. **Sensor de umidade do solo:** para que serve e como funciona. Cruzeiro do Sul: Irrigat, 2022. Disponível em: <https://www.irrigat.com.br/sensor-de-umidade-do-solo-para-que-serve-e-como-funciona/>. Acesso em: 19 de maio de 2022.

KAGAMI, F. *et al.* **Ciclo da agricultura de precisão**. *In*: COSTA, G. **Blog Fatec AP**. [S. l.], 25 mar. 2013. Disponível em: <http://fatecap.blogspot.com/2013/03/ciclo-da-agricultura-de-precisao.html>. Acesso em: 29 maio 2022.

KIM, J. Y.; GLENN, D. M. Multi-modal sensor system for plant water stress assessment. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 141, p. 27-34, Sept. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2017.07.009>. Acesso em: 08 jun. 2022.

KONG, H.; WU, D. Changes of soil moisture during apple growth based on TVDI index. **Bangladesh Journal of Botany**, Dacca, v. 50, n. 3, p. 955-961, Nov. 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3329/bjb.v50i5.56450>. Acesso em: 22 maio 2022.

KUMAR, G. *et al.* Comparative phylogenetic analysis and transcriptional profiling of MADS-box gene family identified DAM and FLC-like genes in apple (*Malus x domestica*). **Scientific Reports**, Washington, DC, v. 6, [art.] 20695, [p. 1-13], Feb. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/srep20695>. Acesso em: 28 maio 2022.

LANA, N. K. D.; WERLANG, M. K.; SALDANHA, C. S. Organização espacial do município de Vacaria, RS: reestruturação das cadeias produtivas. **Ágora**, Santa Cruz do Sul, v. 20, n. 2, p. 104-113, dez. 2018.

LIMA, J. M. *et al.* Produtividade da cultivar 'Maxi Gala' enxertada sobre distintos porta-enxertos em duas safras na região de Vacaria/RS. *In*: SIMPÓSIO DE FRUTICULTURA DA REGIÃO SUL, 2., 2019, Chapecó. **Anais**. Chapecó: Frusul, 2019. [1 p.].

LOPEZ, G. *et al.* Effect of shading and water stress on light interception, physiology and yield of apple trees. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 210, p. 140-148, Nov. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2018.08.015>. Acesso em: 28 maio 2022.

LUGARESI, A. *et al.* Late summer pruning improves the quality and increases the content of functional compounds in Fuji apples. **Bragantia**, Campinas, v. 81, [art.] e3122, [p. 1-10], Jan. 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.20210234>. Acesso em: 28 maio 2022.

MIHALJEVIĆ, I. *et al.* Comparative study of drought stress effects on traditional and modern apple cultivars. **Plants**, Basel, v. 10, n. 3, [art.] 561, Mar. 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/plants10030561>. Acesso em: 05 maio 2022.

MIKA, A. *et al.* Mechanical pruning of apple trees as an alternative to manual pruning. **Acta Scientiarum Polonorum - Hortorum Cultus**, Poznań, v. 15, n. 1, p. 113-121, 2016. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20163084580>. Acesso em: 01 jun. 2022.

MIKA, A. Physiological responses of fruit trees to pruning. *In*: JANICK, J. (ed.). **Horticultural reviews**. Hoboken: John Wiley, 2011. v. 8, p. 337-378. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/9781118060810.ch9>. Acesso em: 03 jun. 2022.

MOLIN, J. P. Geração e interpretação de mapas de produtividade para agricultura de precisão. *In*: BORÉM, A. *et al.* (org.). **Agricultura de precisão**. Viçosa: UFV, 2000. p. 237-258. Disponível em: <http://www.ler.esalq.usp.br/download/CLP%202000.01.PDF>. Acesso em: 17 maio 2022.

NASA - NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. Earth Observatory. **Measuring Vegetation (NDVI & EVI)**: normalized difference vegetation index (NDVI). Washington, DC: NASA, 2000. Disponível em: https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php. Acesso em: 17 maio 2022.

NTECH INDUSTRIES. **GreenSeeker Handheld Crop Sensor**. 2022. Disponível em: <https://agriculture.trimble.com/product/greenseeker-system/>. Acesso: 15 maio 2022.

PEREIRA, A. J.; PETRI, J. L. Poda e condução da macieira. *In*: EPAGRI. **A cultura da macieira**. Florianópolis: EPAGRI, 2006. p. 391-418.

PEREIRA, T. P. *et al.* O clima da região dos Campos de Cima da Serra, Rio Grande do Sul: condições térmicas e hídricas. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 15, n. 2. p. 145-157, 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/236623635_O_Clima_da_Regiao_dos_Campos_de_Cima_da_Serra_Rio_Grande_do_Sul_condicoes_termicas_e_hidricas. Acesso em: 05 ago. 2020.

PETRI, J. L. *et al.* Avanços na cultura da macieira no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, p. 48-56, out. 2011. Número especial 1. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010029452011000500007&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 19 maio 2022.

PHIPPS, J. B. *et al.* A checklist of the subfamily *Maloideae* (*Rosaceae*). **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 68, n. 10, p. 2209- 2269, 1990.

RAPAPORT, T. *et al.* The effect of differential growth rates across plants on spectral predictions of physiological parameters. **PLOS ONE**, San Francisco, v. 9, n. 2, [art.] e88930, 2014. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0088930>. Acesso em: 22 maio 2022.

RIZZI, R. **Geotecnologias em um sistema de estimativa da produção de soja**: estudo de caso no Rio Grande do Sul. 2004. 216 f. Tese (Doutorado) - Curso de Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005.

ROZA, D. Novidade no campo: geotecnologias renovam a agricultura. **Revista InfoGEO**, Curitiba, n. 11, 02 fev. 2000. Disponível em: <https://mundogeo.com/2000/02/02/novidade-no-campo-geotecnologias-renovam-a-agricultura/#:~:text=O%20aumento%20das%20aplica%C3%A7%C3%B5es%20das,ferramentas%20de%20GEO%20podem%20oferecer>. Acesso em: 21 jun. 2020.

RUFATO, A. R. Podando macieiras no sistema Tall Spindle. **A Vindima**, Flores da Cunha, p. 7, jun. 2016. Disponível em:

https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1054094/1/Avindi_majunho85p72016.pdf. Acesso em: 26 maio 2022.

SANHUEZA, R. M. V.; OLIVEIRA, P. R. D. Resgate de macieiras antigas no Rio Grande do Sul: uma opção para a manutenção da diversidade genética. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 158-159, abr. 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbf/a/DgnMGYYZgFcf6P9twYCNkqS/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 02 jun. 2022.

SCARPARE FILHO, J. A.; MEDINA, R. B.; SILVA, S. R. **Poda de árvores frutíferas**. Piracicaba: Casa do Produtor Rural, 2011.

SHARMA, L. K. Effect of varied pruning intensities on the growth, yield and fruit quality of starking delicious apple under mid hill conditions of Himachal Pradesh, India. **Agricultural Science Digest**, Haryana, v. 34, n. 4, p. 293, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5958/0976-0547.2014.01023.4>. Acesso em: 01 jun. 2022.

SOUZA, M. P. de *et al.* Poda verde melhora a qualidade de frutos e aumenta o conteúdo de compostos fenólicos e a atividade antioxidante em maçãs 'Fuji'. *In*: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 28., 2018, Florianópolis. [Anais]. Florianópolis: UDESC, 2018. [p.1-2]. Disponível em: https://www.udesc.br/arquivos/udesc/id_cpmenu/8179/129_15343491983712_8179.pdf. Acesso em: 01 jun. 2022.

STRECK, E. V. *et al.* (colab.) **Solos do Rio Grande do Sul**. 3. ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2018. 252 p.

VIAN, A. L. **Sensores de vegetação para estimativa in situ do potencial produtivo na cultura do milho**. 2015. 68 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/138227>. Acesso em: 12 maio 2022.

WEBSTER, A. D. Shoot growth. *In*: **Fundamentals of temperate zone tree fruit production**. Leiden: Backhuys, 2005. p. 120-135.