



**CLEIDSON ALVES DA SILVA**

**CRESCIMENTO DE FRUTOS E APTIDÃO À COLHEITA  
MECANIZADA DE CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA**

**LAVRAS-MG  
2024**

**CLEIDSON ALVES DA SILVA**

**CRESCIMENTO DE FRUTOS E APTIDÃO À COLHEITA MECANIZADA DE  
CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA**

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

Pesq. Dr. Gladyston Rodrigues Carvalho  
Orientador

**LAVRAS – MG  
2024**

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

Silva, Cleidson Alves da.

Crescimento de frutos e aptidão à colheita mecanizada de  
cultivares de café arábica / Cleidson Alves da Silva. - 2024.

107 p. : il.

Orientador(a): Gladyston Rodrigues Carvalho.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2024.  
Bibliografia.

1. Café. 2. Desenvolvimento dos frutos. 3. Colheita manual e  
mecanizada. I. Carvalho, Gladyston Rodrigues. II. Título.

**CLEIDSON ALVES DA SILVA**

**CRESCIMENTO DE FRUTOS E APTIDÃO À COLHEITA MECANIZADA DE  
CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA**

**FRUIT GROWTH AND SUITABILITY FOR MECHANIZED HARVESTING OF  
ARABIC COFFEE CULTIVARS**

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

APROVADA em 29 de fevereiro de 2024.

Dr. André Dominghetti Ferreira  
Dr. Tiago Teruel Rezende  
Dr. Vinicius Teixeira Andrade  
Dr. João Paulo Felicori Carvalho

EMBRAPA  
UFLA  
EPAMIG  
Educampo/SEBRAE

Pesq. Dr. Gladyston Rodrigues Carvalho  
Orientador

**LAVRAS – MG  
2024**

*A Deus, que colocou em meu caminho boas pessoas e ferramentas para que tudo pudesse ser alcançado. A minha família!  
Dedico*

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus primeiramente por ter me dado à vida, pela bondade e amor incondicional, por ter me dado o direito de viver e chegar onde meus pés não poderiam alcançar.

A minha família, em especial aos meus pais, Carlos e Luzeir, que mesmo nas condições que tinham me deram as melhores possíveis. A minha esposa, que desde o início entendeu o meu caminho e me apoiou.

Ao meu orientador, Gladyston Rodrigues Carvalho, pela amizade, pela confiança depositada e pelas oportunidades de aprendizado que vão além daqueles oferecidos pelo ambiente acadêmico.

À Fazenda Ouro Verde, por terem cedido as áreas experimentais, funcionários e estrutura ao longo dos anos de avaliações, não seria possível sem essa parceria.

Aos pesquisadores André e Vinicius pelos ensinamentos e ajuda nos desafios propostos.

À EPAMIG pela disponibilização da estrutura e recursos e aos amigos da EPAMIG pelas conversas, aprendizados e por estarem sempre dispostos em ajudar.

A UFLA e ao programa de Pós-graduação em Agronomia/Fitotecnia, em especial aos professores e pesquisadores pelo conhecimento oferecido durante o curso.

Ao CNPq, Consórcio Pesquisa Café e INCT Café pelo apoio nas pesquisas com café.

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

A todos os agricultores, que conseguem alimentar o mundo mesmo com tantos desafios.

Ser grato é uma forma de mostrar a importância das pessoas na sua trajetória.

A todos, muito obrigado!

## RESUMO

Estudar os cafeeiros é importante para produzir novos conhecimentos que auxiliem tecnologicamente no sistema de produção. Este trabalho teve como objetivo avaliar as plantas de diferentes cultivares de *Coffea arabica* em relação ao desenvolvimento dos frutos e aspectos das colheitas manual e mecanizada. Para alcançar o objetivo, três estudos foram realizados. O primeiro avaliou o desenvolvimento dos frutos, por meio do acúmulo de massa seca, no período compreendido entre a antese floral e a senescência dos frutos. O segundo estudo avaliou a adaptação das cultivares em relação à colheita mecanizada. E a terceira investigação foi relacionado aos danos causados entre a colheita manual e mecanizada. Os resultados do primeiro estudo mostraram que o maior acúmulo de massa seca nos frutos ocorre posteriormente ao maior acúmulo de massa seca nos grãos. O aumento da massa seca nos frutos nos estádios finais de desenvolvimento foi devido ao aumento de massa seca na casca. No segundo estudo, verificou-se a existência de variabilidade entre as cultivares para os parâmetros relacionados a colheita mecanizada. Foi possível observar que cultivares Topázio MG 1190, MGS Paraíso 2 e a progênie H514-7-8-2 se destacaram para a eficiência de derriça dos frutos. Para o terceiro estudo as cultivares MGS Ametista e Paraíso MG H419-1 obtiveram destaque no sistema de colheita mecanizado por não apresentarem danos vegetativos elevados. Também foi possível verificar que a força de desprendimento dos frutos foi uma característica importante quando se analisa os danos causados pela colheita, seja manual ou mecanizada. Em conjunto, a compreensão dos resultados poderá orientar os processos mais adequados para alcançar os melhores resultados no manejo da cultura de café, como melhor período de adubação, ponto de colheita dos frutos e as cultivares mais adequadas para colheita mecanizada e manual.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L.; fenologia; desenvolvimento dos frutos; curva de acúmulo de massa seca; colheita mecanizada; eficiência de derriça; desfolha.

## ABSTRACT

Studying coffee trees is important to produce new knowledge that helps technologically in the production system. This work aimed to evaluate plants of different *Coffea arabica* cultivars in relation to fruit development and aspects of manual and mechanized harvesting. To achieve the objective, three studies were carried out. The first evaluated fruit development, through the accumulation of dry mass, in the period between floral anthesis and fruit senescence. The second study evaluated the adaptation of cultivars in relation to mechanized harvesting. And the third investigation was related to the damage caused between manual and mechanized harvesting. The results of the first study showed that the greatest accumulation of dry mass in fruits occurs after the greatest accumulation of dry mass in grains. The increase in dry mass in fruits in the final stages of development was due to the increase in dry mass in the peel. In the second study, the existence of variability between genotypes was verified for parameters related to mechanized harvesting. It was possible to observe that cultivars Topázio MG 1190, MGS Paraíso 2 and the progeny H514-7-8-2 stood out for their fruit stripping efficiency. For the third study, the cultivars MGS Ametista and Paraíso MG H419-1 stood out in the mechanized harvesting system because they did not present high vegetative damage. It was also possible to verify that the detachment force of the fruits was an important characteristic when analyzing the damage caused by harvesting, whether manual or mechanized. Together, understanding the results can guide the most appropriate processes to achieve the best results in coffee crop management, such as the best fertilization period, fruit harvesting point and the most suitable cultivars for mechanized and manual harvesting.

Keywords: *Coffea arabica* L.; phenology; fruit development; dry mass accumulation curve; mechanized harvest; stripping efficiency; defoliate.

## INDICADORES DE IMPACTO

Este trabalho apresenta resultados com impactos diretos e abrangentes nas comunidades agrícolas, especialmente para os produtores de café. As descobertas oferecem melhorias significativas para o trabalho no campo, no manejo da cultura e na sustentabilidade da produção de café. O trabalho permitiu a obtenção de conhecimentos fitotécnicos para a cafeicultura que irá auxiliar o manejo da cultura, dando maior suporte aos produtores principalmente com relação aos processos de condução e colheita das lavouras. O desenvolvimento e a implementação de um pacote tecnológico completo, baseado nas informações do trabalho, facilitarão a adoção das novas práticas pelos cafeicultores, maximizando os benefícios da pesquisa. Além disso, o trabalho trouxe informações que poderão dar suporte para o planejamento do programa de adubação da lavoura, o que poderá ser utilizado como potencial impacto na eficiência do uso de insumos e mão de obra, proporcionando maior sustentabilidade na produção. Os resultados servirão como base para o trabalho de extensionistas, técnicos de campo, agrônomos e outros profissionais do setor, orientando os cafeicultores no manejo da cultura e na implementação das novas tecnologias. Para o meio acadêmico, as descobertas do estudo promovem o conhecimento na área de estudo e servem como base para novas pesquisas, aprofundando o conhecimento sobre a cafeicultura e o desenvolvimento de soluções ainda mais eficazes para o setor.

## IMPACT INDICATORS

This work presents results with direct and wide-ranging impacts on agricultural communities, especially for coffee producers. The discoveries offer significant improvements to work in the field, crop management and the sustainability of coffee production. The work allowed us to obtain phytotechnical knowledge for coffee growing, which will help manage the crop, providing greater support to producers, especially in relation to the processes of managing and harvesting crops. The development and implementation of a complete technological package, based on the information from the work, will facilitate the adoption of new practices by coffee growers, maximizing the benefits of the research. Furthermore, the work provided information that could support the planning of the crop fertilization program, which could be used as a potential impact on the efficiency of the use of inputs and labor, providing greater sustainability in production. The results will serve as a basis for the work of extensionists, field technicians, agronomists and other professionals in the sector, guiding coffee growers in managing the crop and implementing new technologies. For the academic world, the study's findings promote knowledge in the area of study and serve as a basis for new research, deepening knowledge about coffee farming and developing even more effective solutions for the sector.

## SUMÁRIO

|            |                                                                                        |           |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>   | <b>INTRODUÇÃO GERAL .....</b>                                                          | <b>11</b> |
|            | <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                                               | <b>13</b> |
|            | <b>ARTIGO 1 - ACÚMULO DE MASSA SECA NOS FRUTOS DE CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA .....</b> | <b>14</b> |
| <b>1</b>   | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                                                | <b>15</b> |
| <b>2</b>   | <b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>                                                        | <b>16</b> |
| <b>2.1</b> | <b>Caracterização da área e delineamento experimental .....</b>                        | <b>16</b> |
| <b>2.2</b> | <b>Produtividade, massa seca de ramos e folhas das plantas.....</b>                    | <b>18</b> |
| <b>2.3</b> | <b>Acúmulo de massa seca nos frutos.....</b>                                           | <b>18</b> |
| <b>2.4</b> | <b>Tamanho dos frutos em função dos dias após florada .....</b>                        | <b>19</b> |
| <b>2.5</b> | <b>Análise dos dados .....</b>                                                         | <b>19</b> |
| <b>3</b>   | <b>RESULTADOS.....</b>                                                                 | <b>22</b> |
| <b>3.1</b> | <b>Produtividade, massa seca de ramos e folhas das plantas.....</b>                    | <b>22</b> |
| <b>3.2</b> | <b>Crescimento dos frutos em tamanho e acúmulo de massa seca .....</b>                 | <b>23</b> |
| <b>3.3</b> | <b>Delimitação dos estádios de desenvolvimento dos frutos .....</b>                    | <b>31</b> |
| <b>4</b>   | <b>DISCUSSÃO.....</b>                                                                  | <b>34</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Produtividade e acúmulo de massa seca em ramos e folhas .....</b>                   | <b>34</b> |
| <b>4.2</b> | <b>Crescimento dos frutos em tamanho e massa seca .....</b>                            | <b>34</b> |
| <b>4.3</b> | <b>Delimitação dos estádios de desenvolvimento dos frutos .....</b>                    | <b>38</b> |
| <b>5</b>   | <b>CONCLUSÕES .....</b>                                                                | <b>40</b> |
|            | <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                                               | <b>41</b> |
|            | <b>ARTIGO 2 - COLHEITA MECANIZADA EM CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA .....</b>              | <b>44</b> |
| <b>1</b>   | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                                                | <b>45</b> |
| <b>2</b>   | <b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>                                                        | <b>46</b> |
| <b>2.1</b> | <b>Localidade e delineamento experimental .....</b>                                    | <b>46</b> |
| <b>2.2</b> | <b>Desempenho da colheita entre as cultivares .....</b>                                | <b>48</b> |
| <b>2.3</b> | <b>Desfolha e danos .....</b>                                                          | <b>49</b> |
| <b>2.4</b> | <b>Caracterização das cultivares .....</b>                                             | <b>50</b> |
| <b>2.5</b> | <b>Análise de dados .....</b>                                                          | <b>52</b> |
| <b>3</b>   | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                                                    | <b>52</b> |
| <b>3.1</b> | <b>Desempenho da colheita mecanizada entre as cultivares.....</b>                      | <b>52</b> |

|     |                                                                                      |     |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.2 | Danos e desfolha nas cultivares durante a colheita .....                             | 56  |
| 3.3 | Força de desprendimento dos frutos.....                                              | 60  |
| 3.4 | Caracterização das cultivares e correlações com desempenho na colheita .....         | 65  |
| 4   | CONCLUSÃO .....                                                                      | 71  |
|     | REFERÊNCIAS .....                                                                    | 72  |
|     | ARTIGO 3 - DANOS DA COLHEITA MECANIZADA E MANUAL EM CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA ..... | 75  |
| 1   | INTRODUÇÃO .....                                                                     | 76  |
| 2   | MATERIAL E MÉTODOS .....                                                             | 77  |
| 2.1 | Localidade e delineamento experimental .....                                         | 77  |
| 2.2 | Avaliação de danos causados pela colheita manual e mecanizada .....                  | 79  |
| 2.3 | Caracterização das cultivares .....                                                  | 80  |
| 2.4 | Análise de dados .....                                                               | 81  |
| 3   | RESULTADOS.....                                                                      | 81  |
| 3.1 | Danos causados nas plantas das diferentes cultivares pelos sistemas de colheita      | 82  |
| 3.2 | Caracterização das cultivares e correlação com os danos da colheita.....             | 89  |
| 4   | DISCUSSÃO.....                                                                       | 99  |
| 4.1 | Danos causados nas cultivares pelos sistemas de colheita.....                        | 99  |
| 4.2 | Caracterização das cultivares e correlação com os danos da colheita.....             | 100 |
| 5   | CONCLUSÃO .....                                                                      | 103 |
|     | REFERÊNCIAS .....                                                                    | 104 |
|     | CONSIDERAÇÕES FINAIS .....                                                           | 107 |

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O grande volume de café produzido no mundo, principalmente no Brasil, só foi possível pela adoção de cultivares altamente produtivas e a utilização de novas tecnologias. Ambos fatores são originados de pesquisas baseadas no estudo das plantas. Estudar as plantas de café é importante para produzir novos conhecimentos que auxiliem nos desafios gerados pelo sistema de produção.

Considerando a quantidade de área plantada com a cultura no país e a escassez de mão-de-obra no campo, a utilização de máquinas têm sido a solução para médios e grandes produtores, principalmente para os trabalhos relacionados a colheita, que devem ser realizados em um curto espaço de tempo. Neste contexto, cria-se um novo cenário, onde as propriedades vão expandindo a utilização de máquinas, sendo necessário a este sistema plantas adaptadas a estas condições.

Os programas de melhoramento buscam características favoráveis ao cultivo que mantenham altas produtividades, como a resistência a doenças e pragas, estresse hídrico, entre outras (Dias *et al.*, 2017; Rezende *et al.*, 2019; Morello *et al.*, 2020). Com a utilização da mecanização nas lavouras cafeeiras, surge uma nova demanda para a escolha de cultivares que adaptem a este sistema. Na maior parte, as máquinas disponíveis no mercado que realizam a colheita mecanizada funcionam por meio de hastes vibratórias que ao passar nas linhas de plantio das lavouras derriçam o café (Ferreira Júnior *et al.*, 2016; Gomes *et al.*, 2020). No entanto, apesar da eficiência de derriça dos frutos, as máquinas causam danos as plantas cafeeiras, resultado da desfolha ocorrida pela operação mecânica.

De acordo com Oliveira *et al.* (2007), o aumento da vibração nas hastes do equipamento mecânico aumenta a eficiência de derriça dos frutos, mas inversamente causam às plantas maiores danos por desfolha. Cultivares com maior capacidade de recuperação a desfolha ou que sofram menores efeitos deste dano demonstram melhor adaptação para os cultivos de colheita mecanizada. A força do desprendimento do fruto, que é uma característica inerente ao cultivar, tem sido associada com a maior eficiência de derriça, sendo utilizada como indicativo do ponto de colheita total e colheita seletiva (Silva *et al.*, 2010). Assim, cultivares que possuem menores forças de desprendimento dos frutos cerejas e maiores forças de desprendimento dos frutos verdes, estão mais propícios a colheita mecanizada seletiva (Silva *et al.*, 2013).

A busca por cultivares altamente produtivos e que ao mesmo tempo mantenham esta característica por se adaptarem aos cultivos mecanizados se transforma numa nova linha de pesquisa, que tem por finalidade trazer um conjunto de informações para os produtores estarem

mais seguros na escolha das cultivares que formarão suas lavouras, seja elas com perfil de colheita mecanizada ou colheita manual.

Além dos aspectos relacionados a colheita dos frutos, o estudo do desenvolvimento dos frutos desde seus estádios iniciais até os períodos que ultrapassam a maturação gera um importante conhecimento para ser utilizado como parte do manejo das lavouras. Conhecer o desenvolvimento dos frutos considerando as particularidades de cada cultivar possibilita o manejo adequado da cultura, auxiliando na identificação da época de maior ganho de massa no fruto e na determinação do instante adequado para a adubação e irrigação. Também auxilia na determinação do ponto ótimo de colheita que, geralmente, é feito pela coloração externa do fruto de café (Fernandes *et al.*, 2014).

Este trabalho teve como objetivo avaliar as plantas de diferentes cultivares de *Coffea arabica* em relação ao desenvolvimento dos frutos e aspectos das colheitas manual e mecanizada. Para alcançar este objetivo três estudos foram realizados. O primeiro avaliou o desenvolvimento dos frutos, por meio do acúmulo de massa seca, no período compreendido entre a antese floral e a senescência dos frutos. O segundo estudo avaliou a adaptação das cultivares em relação à colheita mecanizada. E a terceira investigação foi relacionado aos danos causados entre a colheita manual e mecanizada.

## REFERÊNCIAS

- DIAS, Rodrigo Elias Batista Almeida *et al.* A. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de progênies F4 de *Coffea arabica* L. **Coffee Science**, v. 12, n. 4, p. 508 - 516, 2017.
- MORELLO, Orlando Ferreira *et al.* Agronomic performance, postharvest and indirect selection of *Coffea arabica* L. cultivars for high-temperature regions. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, n. 3, 2020.
- REZENDE, Ramiro Machado *et al.* Arabica coffee progenies with multiple resistant to root-knot nematodes. **Euphytica**, v. 215, n. 62, 2019.
- SILVA, Flávio Castro da *et al.* Comportamento da força de desprendimento dos frutos de cafeeiros ao longo do período de colheita. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, p.468-474. 2010.
- SILVA, Flávio Castro da *et al.* Desempenho operacional da colheita mecanizada e seletiva do café em função da força de desprendimento dos frutos. **Coffee Science**, v. 8, n. 1, p. 53-60, 2013.
- FERNANDES, Tales Jesus *et al.* Selection of nonlinear models for the description of the growth curves of coffee fruit. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 207-215, 2014.
- OLIVEIRA, Ezequiel *et al.* Influência da vibração das hastes e da velocidade de deslocamento da colhedora no processo de colheita mecanizada do café. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v. 27, n. 3, p. 714-721, 2007.
- FERREIRA JÚNIOR, Luiz de Gonzaga *et al.* Recomendação para colheita mecânica do café baseado no comportamento de vibração das hastes derriçadoras. **Ciência Rural**, v.46, n.2, p.273-278, 2016.
- GOMES, Ely Queiroz *et al.* Effect of the impact of rigid rods on coffee fruit detachment efficiency by mechanical vibrations. **Coffee Science**, e151747, 2020.

## ARTIGO 1 - ACÚMULO DE MASSA SECA NOS FRUTOS DE CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA

### RESUMO

Descrever o desenvolvimento dos frutos de café por meio de curva de crescimento pode possibilitar o adequado manejo nutricional e assertividade no ponto de colheita. O presente estudo teve como objetivo avaliar o crescimento dos frutos de diferentes cultivares de café arábica para o acúmulo de massa seca dos frutos, grãos e casca em função dos dias após a antese floral, e identificar os períodos de maior demanda dos frutos por fotoassimilados. O experimento foi conduzido em delineamento experimental em blocos casualizados com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por 11 cultivares de *Coffea arabica* e os períodos de coleta de frutos após a florada. A produtividade das cultivares foi avaliada e correlacionada com a produção de massa seca da planta na mesma safra. Para descrever as curvas de crescimento dos frutos em tamanho e massa seca da casca e dos grãos foram utilizados modelos não lineares e polinomial cúbico. Os parâmetros das curvas foram utilizados para delimitar e caracterizar os estádios fenológicos dos frutos em cada cultivar. O estudo mostrou que o maior acúmulo de massa seca nos frutos ocorre posteriormente ao maior acúmulo de massa seca nos grãos, e isto acontece porque a casca se torna um dreno principal dos frutos nos estádios finais de desenvolvimento. Assim, mesmo os grãos não acumulando massa seca nos estádios finais de desenvolvimento, os frutos continuam a crescer, pois neste período o acúmulo de massa seca ocorre predominantemente pela casca. Os resultados sobre a dinâmica de crescimento dos frutos em diferentes cultivares de café arábica possibilitaram orientar o manejo da cultura de modo a alcançar a melhor performance de cada cultivar em relação aos períodos de maior exigência nutricional e ao ponto de colheita.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L.; Curva de crescimento dos frutos; Fenologia; Período reprodutivo.

## 1 INTRODUÇÃO

A cultura do café desempenha importante papel na propulsão da economia, desde a criação de oportunidades de emprego no cultivo das lavouras até o fornecimento de insumo para as indústrias de bebidas nos países produtores e em todo o mundo (Merga; Bekasisa, 2023). O Brasil é o país líder mundial na produção e exportação de café (ICO, 2023). O país possui ambiente favorável para o cultivo das espécies de café que possuem maior interesse comercial, produzindo na última safra um volume de 3,30 milhões de toneladas de café, sendo 2,33 toneladas pertencentes a espécie *Coffea arabica* L. e 0,97 milhões de toneladas pertencentes a espécie *C. canephora* (CONAB, 2023).

O sucesso da cafeicultura no Brasil e no mundo tem como base a aplicação de tecnologias originadas de pesquisas. Dentre os órgãos da planta de café, os frutos são constantemente estudados. A fase de crescimento dos frutos é uma etapa em que ocorrem as alterações quantitativas que resultam no aumento de peso e volume (DaMatta *et al.*, 2007). Esta é influenciada por fatores do ambiente, como temperatura, radiação solar e precipitação, além de fatores genéticos intrínsecos de cada genótipo (Laviola *et al.*, 2007; Cunha; Volpe, 2011; Adler *et al.*, 2014). O estudo da taxa de crescimento do fruto tem grande importância para conhecermos como ocorre cada etapa de formação e entender os períodos críticos no desenvolvimento, como o período de maior ganho de massa, maturação e o ponto de colheita (Santos *et al.*, 2021; Moraes *et al.*, 2023).

De acordo com Fernandes *et al.* (2022) uma forma de descrever o processo de desenvolvimento dos frutos é por meio da construção de modelos pelo estudo de curvas de crescimento. Por estes modelos é possível obter estimativas que indiquem, por exemplo, o ponto de colheita adequado ou até mesmo os momentos de maior exigência nutricional da cultura.

O termo curva de crescimento é geralmente utilizado para descrever curvas sigmoidais que representam o comportamento de medidas de dimensão ao longo do tempo (Silva *et al.*, 2021). As curvas sigmoidais podem ser geradas a partir de funções matemáticas de modelos não lineares e são comumente usadas para descrever variáveis como altura, peso, índice de área foliar ou germinação de sementes em função do tempo (Miguez; Archontoulis; Dokoochaki, 2018).

Diversos trabalhos utilizaram curvas sigmoidais para descrever o crescimento dos frutos de cafeeiros arábica (Silva; Volpe, 2005; Cunha; Volpe, 2011; Adler *et al.*, 2015; Pérez *et al.*, 2023). Modelos sigmoidais também foram anteriormente utilizados para descrever o

crescimento dos frutos de café da espécie *C. canephora* (Partelli *et al.*, 2014; Dubberstein *et al.*, 2019; Covre *et al.*, 2022; Senra *et al.*, 2022).

Conhecer as curvas de crescimento de frutos das diferentes cultivares de café possibilita o manejo adequado da cultura, auxiliando, por exemplo, na identificação das diferentes fases fenológicas envolvidas em seu desenvolvimento, da época de maior ganho de massa do fruto e na determinação do instante adequado para a adubação e irrigação. Também auxilia na determinação do ponto ótimo de colheita que, geralmente, é feito pela coloração externa e tamanho do fruto de café (Fernandes *et al.*, 2014).

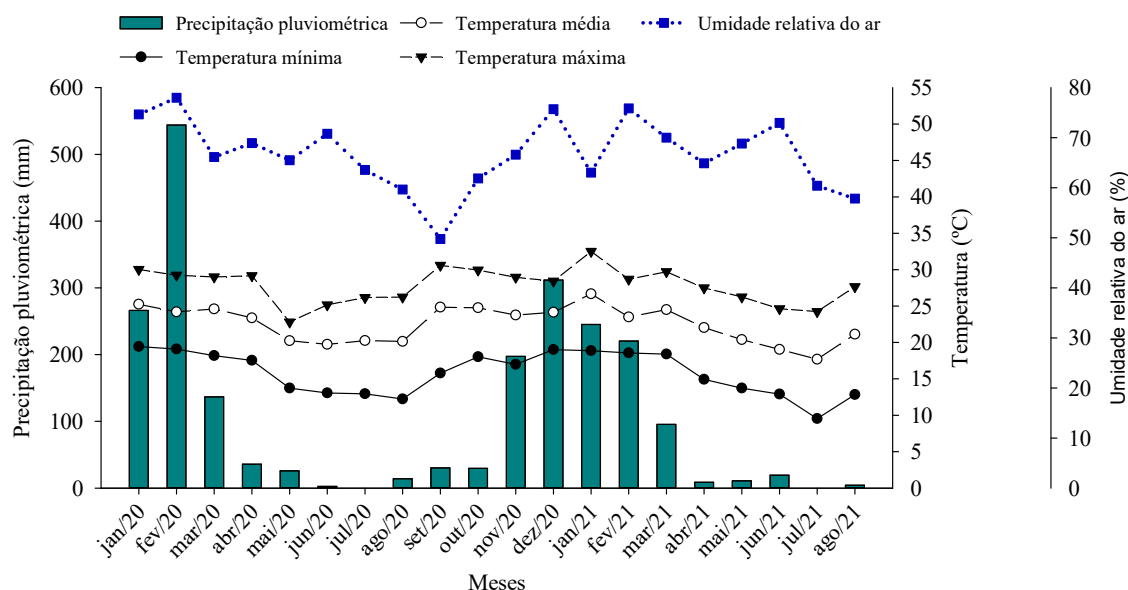
Dessa forma, estudou-se o crescimento dos frutos de diferentes cultivares de *C. arabica* por meio do acúmulo de massa seca em dias após a antese floral e os períodos de maior acúmulo de massa seca na casca e nos grãos dos frutos. A produtividade de grãos e massa seca da parte aérea foram determinados para complementar as respostas.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Caracterização da área e delineamento experimental**

O experimento foi conduzido entre os meses de setembro de 2020 e julho de 2021 em lavoura comercial localizada no município de Lavras, Minas Gerais, Brasil (21°17'20" S e 45°06'05" W). A área está a 895m de altitude e o clima conforme a classificação de Koppen é do tipo Cwa com média pluviométrica anual de 1.529 mm. Os dados climáticos do município durante o período de condução do experimento foram obtidos pela estação meteorológica localizada no campus da Universidade Federal de Lavras (Figura 1).

Figura 1 – Dados climáticos para o período experimental durante a safra de 2020/2021. Lavras, MG – Brasil.



Fonte: Do autor (2024).

A lavoura foi implantada no ano de 2017, sendo constituída por 11 cultivares de *C. arabica* L. (Tabela 1) cultivadas sob uma densidade de 4.082 plantas por hectare em espaçamento de 3,5m entre linhas e 0,7m entre plantas. A lavoura foi cultivada em sistema de sequeiro, e os tratos culturais foram realizados conforme as orientações técnicas para cultura e consistiram basicamente no controle de plantas daninhas com herbicidas e roçadora, manejo fitossanitário preventivo, calagem e adubação conforme descritos por Carvalho *et al.* (2021).

Tabela 1 – Identificação das 11 cultivares de *Coffea arabica*. Lavras – MG, Brasil.

| Identificação | Nome da progênie/cultivar | Instituição detentora** |
|---------------|---------------------------|-------------------------|
| 1             | MGS Catucaí Pioneira      | EPAMIG                  |
| 2             | Paraíso MG H 419-1        | EPAMIG                  |
| 3             | Catuai Amarelo IAC 62     | IAC                     |
| 4             | H-29-1-8-5*               | EPAMIG                  |
| 5             | Topázio MG 1190           | EPAMIG                  |
| 6             | MGS Paraíso 2             | EPAMIG                  |
| 7             | Catiguá MG2               | EPAMIG                  |
| 8             | Pau Brasil MG1            | EPAMIG                  |
| 9             | H514-7-8-2*               | EPAMIG                  |
| 10            | IAC 125 RN                | IAC                     |
| 11            | MGS Ametista              | EPAMIG                  |

Legenda: \*Progênies do programa de melhoramento em café da EPAMIG. \*\* Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) e Instituto Agrônomo de Campinas (IAC).

Fonte: Do autor (2024).

O experimento foi conduzido sob delineamento experimental em blocos casualizados com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos pelas 11 cultivares de café. As parcelas experimentais foram constituídas de dez plantas, sendo as cinco plantas centrais consideradas úteis.

## **2.2 Produtividade, massa seca de ramos e folhas das plantas**

A produtividade foi determinada pela colheita manual de todos os frutos das plantas das parcelas experimentais. A colheita foi realizada em todas as cultivares com pelo menos 40% de frutos maduros. Os frutos foram pesados por meio de balança digital portátil e uma amostra de 3 litros foi retirada do volume total da parcela para determinar o rendimento de frutos colhidos para café beneficiado. As amostras foram levadas para a secagem em terreiro até atingir 12% de umidade e na sequência foram beneficiadas. Os dados de produtividade da parcela foram convertidos em sacas de 60kg de café beneficiado por hectare (sc ha<sup>-1</sup>), considerando o rendimento de cada parcela.

Para mensurar a massa seca de ramos plagiotrópicos e folhas foi selecionado uma planta de cada cultivar por repetição. As plantas foram selecionadas considerando como critério o nível de enfolhamento e porte homogêneo semelhante às demais plantas da parcela.

Utilizando o método destrutivo, foi cortado, com o auxílio de tesouras de poda, todos os ramos plagiotrópicos das plantas selecionadas a aproximadamente cinco centímetros do ramo ortotrópico. O material vegetal, separado em ramos plagiotrópicos e folhas, foi levado para estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até atingir peso constante. Após obtenção de peso constante, a massa seca de ramos e folhas foi determinada utilizando balança de precisão. A massa seca total da planta consistiu do somatório da massa seca de ramos e folhas.

## **2.3 Acúmulo de massa seca nos frutos**

Para determinar a massa seca dos frutos, casca e grãos foram coletadas amostras de frutos após a antese floral em intervalos de aproximadamente 30 dias entre uma coleta e outra. No período de florescimento do cafeeiro foram monitoradas as floradas que ocorreram e identificada a florada principal, que ocorreu em 01 de outubro de 2020. Foi considerada a florada principal aquela em que houve a maior quantidade de flores abertas nas plantas. A partir

desta data efetuou-se coletas periódicas durante o desenvolvimento reprodutivo das cultivares, sendo coletados aos 24, 50, 80, 109, 144, 168, 203, 229, 263 e 293 DAF.

Os frutos da florada principal foram colhidos aleatoriamente na parcela em ramos pertencentes ao terço médio da planta. As amostras foram compostas por 30 frutos, sendo coletados 15 frutos em cada lado da linha de plantio. Após a coleta, os frutos foram levados para laboratório onde houve a separação dos frutos em casca e grãos com o auxílio de pinça e estiletes. A casca compreendeu todo o pericarpo (exocarpo, mesocarpo e endocarpo) e o grão, ao endosperma. Como os frutos cresceram pouco durante os primeiros dois meses após a antese floral produzindo frutos de tamanho muito pequeno, a separação dos tecidos em casca e grãos não foi possível aos 24 e 50 DAF.

O material vegetal coletado, já separado em casca e grãos foi colocado em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até atingir peso constante. Após a secagem, a massa da casca e grãos foi determinada utilizando uma balança de precisão. A massa seca dos frutos foi obtida pela soma da massa da casca e dos grãos.

## 2.4 Tamanho dos frutos em função dos dias após florada

O tamanho dos frutos foi avaliado aos 24, 50, 80, 109, 144, 229, 263 e 293 DAF. O tamanho dos frutos foi obtido utilizando o software Image J® por meio de imagens de frutos representativos de cada período de coleta. Para esta avaliação foram utilizados cinco frutos por repetição e quatro repetições. Os valores foram obtidos em mm<sup>2</sup> considerando a área que os frutos ocupam em uma superfície plana, como exemplificado na Figura 2.

Figura 2 – Esquema representativo do método utilizado para mensurar o tamanho dos frutos em uma superfície plana.



Fonte: Do autor (2024).

## 2.5 Análise dos dados

Os dados foram tabulados e submetidos à análise de variância pelo teste F ( $p < 0,01$ ). O teste de Scott Knott ( $p \leq 0,05$ ) foi empregado para o agrupamento das médias entre as cultivares para as variáveis produtividade, massa seca de ramos, folhas e planta. Para o tamanho e o acúmulo de massa seca nos frutos, casca e grãos foram utilizados modelos de regressão não-lineares sigmodais com três (equação 1) e quatro parâmetros (equação 2) (Ratkowsky, 1983) e polinomial cúbico (equação 3), como descritos a seguir:

Equação 1:

$$\hat{y} = \frac{a}{1 + \exp - \left( \frac{x - x_0}{b} \right)}$$

Em que:

a = Ponto máximo da curva

b = Parâmetro de ajuste

$x_0$  = Ponto de inflexão

Equação 2:

$$\hat{y} = y_0 \frac{a}{1 + \exp - \left( \frac{x - x_0}{b} \right)}$$

Em que:

a = Ponto máximo da curva

b = Parâmetro de ajuste

$x_0$  = Ponto de inflexão da curva

$y_0$  = Ponto de mínimo da curva

Equação 3:

$$\hat{y} = y_0 + ax + bx^2 + cx^3$$

Em que:

$y_0$  = Termo independente

a, b e c = Constantes

A escolha do modelo foi de acordo com o melhor ajuste ( $R^2$ ) e também a melhor representação do desenvolvimento de frutos. Para as curvas de massa seca que se ajustaram ao modelo sigmoideal foi calculada a taxa máxima de acúmulo diário (TMA, mg dia<sup>-1</sup>), curvatura mínima (CMIN) e máxima (CMAX). A TMA (mg dia<sup>-1</sup>) foi determinada pelo acúmulo de massa seca no ponto de inflexão da curva ( $X_0$ ) menos o acúmulo obtido no dia anterior. A CMIN é o momento, em dias, que se inicia a ascensão das taxas de acúmulo e a CMAX é o momento em que o acúmulo de massa seca começa a se estabilizar. Para o tamanho dos frutos

também foi calculada a taxa máxima de crescimento diário (TMCD,  $\text{mm}^2\text{dia}^{-1}$ ), a curvatura mínima (CMIN) e máxima (CMAX). A TMCD foi determinada pelo tamanho dos frutos no ponto de inflexão da curva ( $X_0$ ) menos o tamanho dos frutos obtido no dia anterior. A CMIN e CMAX foi calculada nos modelos sigmoidais conforme o método citado por Venegas, Harris e Simon (1998) utilizando os parâmetros das equações não-lineares, como descrito a seguir:

$$CMIN = x_0 - 2b$$

$$CMAX = x_0 + 2b$$

Em que:

CMIN= Curvatura mínima, dias após florada (DAF),

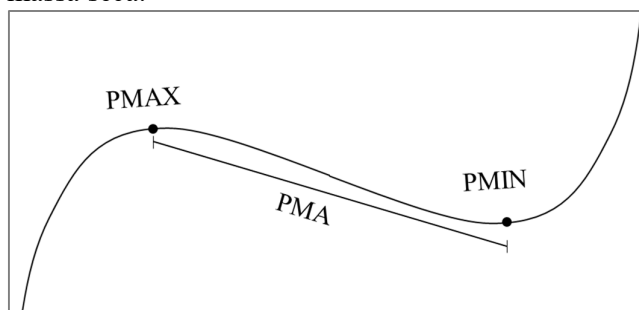
CMAX= Curvatura máxima, dias após florada (DAF),

$x_0$  = Ponto de inflexão da curva

b= Parâmetro de ajuste

Para as curvas que se ajustaram ao modelo polinomial cúbico foram determinados dois pontos considerados importantes na curva, sendo os pontos referentes às duas concavidades do modelo cúbico (Figura 3). O primeiro ponto indica onde ocorre o maior acúmulo de massa seca e a partir deste ponto os ganhos em massa seca são pouco expressivos (PMA). O segundo ponto representa o início dos aumentos expressivos no acúmulo de massa seca, e a partir deste ponto ocorre maior ascensão no acúmulo de massa seca (PMIN). Os dias ocorridos entre o PMA e PMIN indicam o período onde ocorre os menores acúmulos de massa seca (PMA – período de menor acúmulo).

Figura 3 – Pontos de máxima (PMA), ponto de mínima (PMIN) e período de menor acúmulo (PMA) de massa seca.



Fonte: Do autor (2024).

A CMIN e CMAX da curva de acúmulo de massa seca e tamanho dos frutos, assim como a TMA dos frutos e grãos, o PMA da casca e a TMCD do tamanho dos frutos foram utilizados para determinar os estádios de desenvolvimento dos frutos.

Correlações de Pearson foram realizadas entre a produtividade, massa seca da planta, ramos e folhas e também entre os parâmetros obtidos da curva de crescimento dos frutos em tamanho.

Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o software Genes (Cruz, 2016). A análise de regressão foi realizada para as variáveis quantitativas e os gráficos foram construídos utilizando o software SigmaPlot 14.0 (Systat Software Inc.).

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Produtividade, massa seca de ramos e folhas das plantas

Houve diferença significativa entre as cultivares para a produtividade, massa seca total da planta, massa seca de ramos plagiotrópicos e massa seca das folhas (Tabela 2). Para a produtividade, as cultivares IAC 125 RN e MGS Ametista foram superiores as demais, com 67 e 71 sc ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Dois grupos de médias foram formados entre as cultivares para a massa seca total da planta e das folhas, sendo o primeiro grupo composto por oito cultivares e o segundo grupo por três. As cultivares com as maiores médias obtiveram valores de massa seca total da planta acima de 1330 g planta<sup>-1</sup> e massa seca das folhas acima de 650 g planta<sup>-1</sup>, enquanto o grupo com as menores médias não obtiveram valores acima de 1088 g planta<sup>-1</sup> para a massa seca total da planta e 387 g planta<sup>-1</sup> para a massa seca das folhas. Semelhante a massa seca total da planta e das folhas, também houve a formação de dois grupos de médias para a massa seca dos ramos plagiotrópicos (Tabela 2). A progênie H5 14-7-8-2 obteve a menor média com 400,5 g planta<sup>-1</sup>. As demais cultivares não se diferenciaram e obtiveram para a massa seca de ramos plagiotrópicos uma média de 802 g planta<sup>-1</sup>.

Tabela 2 – Resumo da análise de variância e agrupamento das médias entre cultivares de *Coffea arabica* para a produtividade, massa seca de folhas, massa seca de ramos plagiotrópicos e massa seca total de 11 cultivares de *Coffea arabica*. Lavras-MG, Brasil.

|            | Resumo da análise de variância |                  |                   |                           |
|------------|--------------------------------|------------------|-------------------|---------------------------|
|            | Produtividade                  | Massa seca total | Massa seca folhas | Massa seca plagiotrópicos |
| Cultivares | 4,67**                         | 3,91*            | 5,49**            | 1,99*                     |

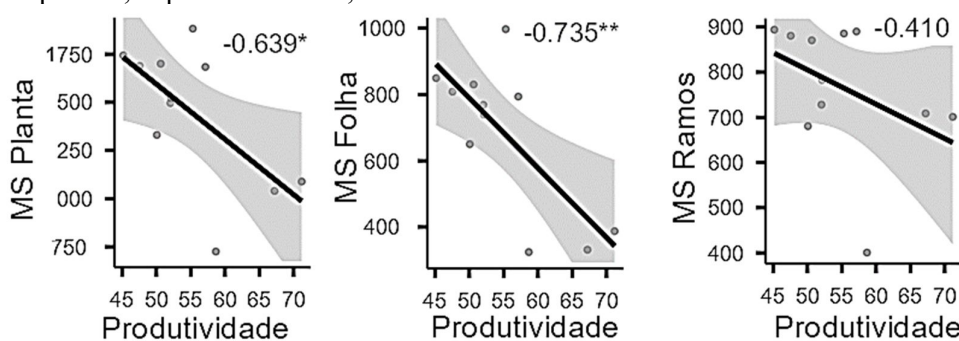
| CV (%)            | 18,95               | 24,08                  | 28,42             | 25,16                     |
|-------------------|---------------------|------------------------|-------------------|---------------------------|
| Média geral       | 55,19               | 1427,36                | 670,86            | 756,50                    |
| Cultivares        | Produtividade       | Massa seca total       | Massa seca folhas | Massa seca plagiotrópicos |
|                   | sc ha <sup>-1</sup> | g planta <sup>-1</sup> |                   |                           |
| MGS C. Pioneira   | 50,63 b             | 1700,50 a              | 830,00 a          | 870,50 a                  |
| Paraíso MG H419-1 | 45,17 b             | 1743,50 a              | 849,50 a          | 894,00 a                  |
| Catuaí IAC 62     | 55,31 b             | 1882,50 a              | 997,00 a          | 885,50 a                  |
| H-29-1-8-5        | 47,56 b             | 1689,00 a              | 808,50 a          | 880,50 a                  |
| Topázio MG 1190   | 57,14 b             | 1683,50 a              | 793,50 a          | 890,00 a                  |
| MGS Paraíso 2     | 52,04 b             | 1496,50 a              | 768,50 a          | 728,00 a                  |
| Catiguá MG2       | 52,13 b             | 1521,50 a              | 739,00 a          | 782,50 a                  |
| Pau Brasil MG1    | 50,07 b             | 1330,50 a              | 650,00 a          | 680,50 a                  |
| H514-7-8-2        | 58,67 b             | 725,00 b               | 324,50 b          | 400,50 b                  |
| IAC 125 RN        | 67,22 a             | 1040,00 b              | 331,50 b          | 708,50 a                  |
| MGS Ametista      | 71,17 a             | 1088,50 b              | 387,50 b          | 701,00 a                  |

Legenda: \*\* e \* Valores de F significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knot a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2024).

Houve correlação negativa significativa entre a produtividade e massa seca total da planta e da folha (Figura 4), indicando que quanto maior a produtividade das cultivares, menor foi a massa seca das folhas e da planta como um todo.

Figura 4 – Correlação entre a produtividade, massa seca total da planta (MS Planta), das folhas (MS Folhas) e ramos plagiotrópicos (MS Ramos) de cultivares de *Coffea arabica*. \*  $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ . Lavras, MG – Brasil.



Fonte: Do autor (2024).

### 3.2 Crescimento dos frutos em tamanho e acúmulo de massa seca

Houve efeito significativo entre as cultivares para o acúmulo de massa seca nos frutos, casca e grãos para os períodos avaliados após a antese floral (Tabelas 3). A cultivar IAC 125

RN obteve o maior valor de massa seca dos frutos, grãos e casca nos últimos períodos de coleta. Em contraste, a cultivar MGS Ametista e a progênie H514-7-8-2 obtiveram nos últimos períodos de coleta menores médias para a massa seca de frutos, casca e grãos.

Tabela 3 – Resumo da análise de variância para a massa seca dos frutos, casca e grãos em cultivares de *Coffea arabica* durante o desenvolvimento dos frutos em dias após florada. Lavras-MG, Brasil.

| Resumo da análise de variância |                    |        |         |        |         |         |         |         |        |        |
|--------------------------------|--------------------|--------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|
| Massa seca dos frutos          |                    |        |         |        |         |         |         |         |        |        |
|                                | 24                 | 50     | 80      | 109    | 144     | 168     | 203     | 229     | 263    | 293    |
| Cultivares                     | 3,4**              | 3,98** | 5,4**   | 3,1**  | 6,8**   | 5,2**   | 15,9**  | 19,1**  | 12,7** | 22,9** |
| CV (%)                         | 17,2               | 20,5   | 9,67    | 5,9    | 5,5     | 7,1     | 5,9     | 4,3     | 6,4    | 4,3    |
| Média geral                    | 1,9                | 5,9    | 38,9    | 162,8  | 236,6   | 282,4   | 402,1   | 500,8   | 604,2  | 699,1  |
| Massa seca da casca            |                    |        |         |        |         |         |         |         |        |        |
|                                | 80                 | 109    | 144     | 168    | 203     | 229     | 263     | 293     |        |        |
| Cultivares                     | 7,18**             | 4,03** | 10,92** | 3,75** | 23,38** | 21,72** | 12,57** | 36,09** |        |        |
| CV (%)                         | 8,92               | 7,07   | 5,49    | 5,74   | 4,67    | 4,82    | 10,19   | 4,48    |        |        |
| Média geral                    | 31,1               | 112,0  | 156,2   | 146,7  | 171,7   | 204,6   | 294,7   | 383,2   |        |        |
| Massa seca dos grãos           |                    |        |         |        |         |         |         |         |        |        |
|                                | 80                 | 109    | 144     | 168    | 203     | 229     | 263     | 293     |        |        |
| Cultivares                     | 1,42 <sup>ns</sup> | 4,31** | 9,64**  | 7,84** | 11,30** | 10,85** | 5,69**  | 9,98**  |        |        |
| CV (%)                         | 18,47              | 5,89   | 10,98   | 12,49  | 7,91    | 6,15    | 7,43    | 5,97    |        |        |
| Média geral                    | 7,9                | 50,7   | 80,4    | 135,7  | 230,4   | 296,2   | 309,6   | 315,9   |        |        |

Legenda: <sup>ns</sup> e <sup>\*\*</sup> Valores de F não significativo e significativo a 1% de probabilidade respectivamente, pelo teste F.

Fonte: Do autor (2024).

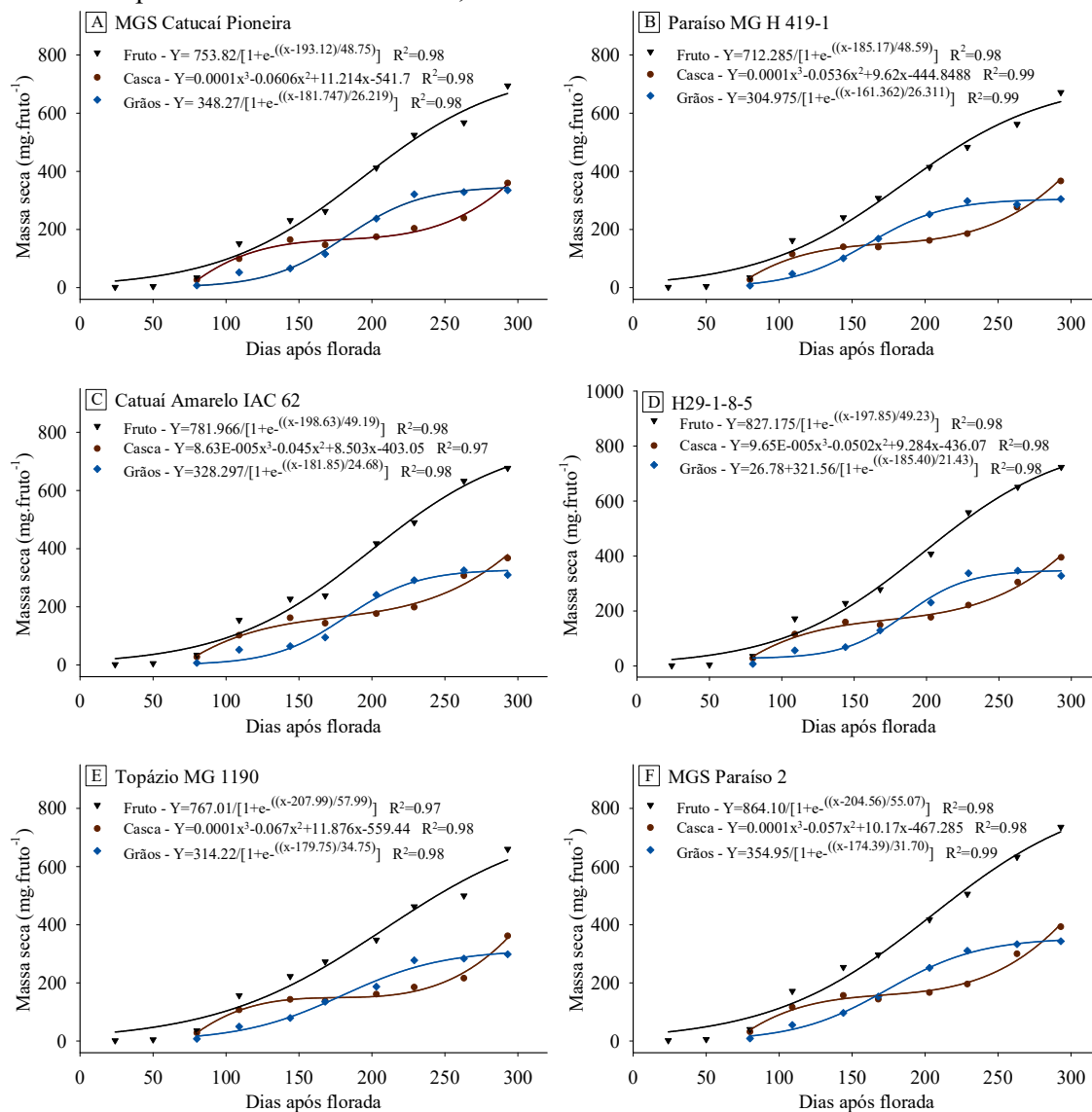
Os modelos propostos para explicar o acúmulo de massa seca nos frutos das cultivares são apresentados na Figura 5. O acúmulo de massa seca nos frutos de todas as cultivares pôde ser descrito por uma função sigmoideal com todos os coeficientes de determinação acima de 0,97. Pela curva obtida foi possível observar três períodos distintos de acúmulo de massa seca nos frutos. Um estágio de crescimento lento, um estágio de crescimento linear acelerado e um estágio final de estabilização (Figura 5).

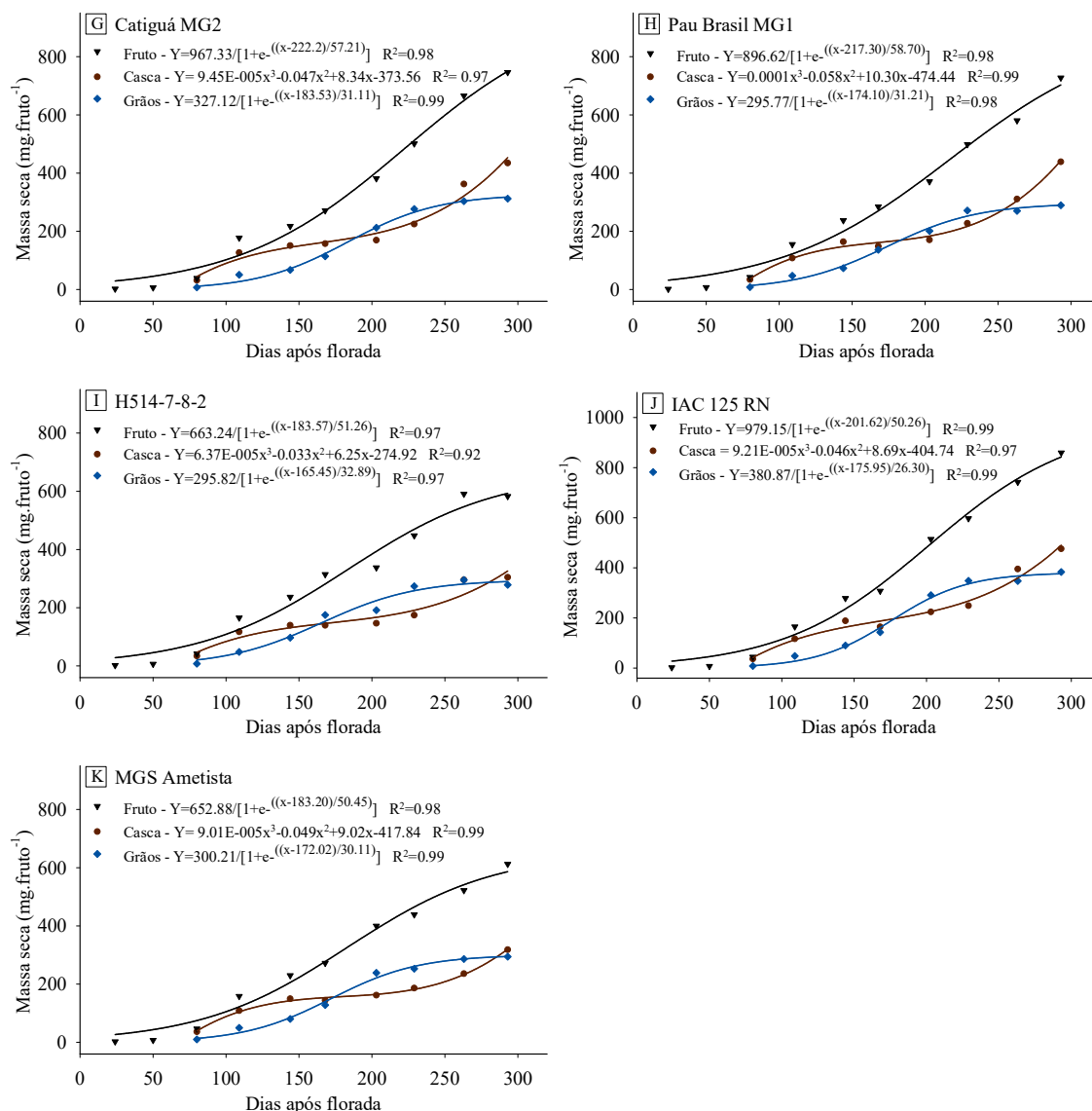
O acúmulo de massa seca na casca de todas as cultivares em função dos DAF's ajustou-se por uma função polinomial cúbica com coeficientes de determinação acima de 0,92. Com as curvas foi possível visualizar três fases distintas de crescimento da casca em massa seca (Figura 5). A primeira fase com um rápido acúmulo de massa seca nos períodos iniciais em dias após a florada. A segunda fase caracterizada por uma estabilização no acúmulo de massa seca. E a terceira fase sendo caracterizada pela retomada no acúmulo de massa seca pela casca.

Semelhante aos frutos, o crescimento dos grãos em massa seca em função dos dias após a florada também foi descrito e bem representado por uma função sigmoideal, obtendo todos os

coeficientes de determinação igual ou acima de 0,97 (Figura 5). Pelo modelo matemático proposto observou-se que a curva de acúmulo de massa seca nos grãos segue inicialmente um padrão de baixo acúmulo de massa seca, seguido por um período de elevado acúmulo e na sequência finaliza com uma estabilização no acúmulo de massa seca nos grãos.

Figura 5 – Massa seca total do fruto, casca e grãos de 11 cultivares de *Coffea arabica* em dias após a florada. Lavras – MG, Brasil.





Fonte: Do autor (2024).

Comparando os três últimos períodos de coleta verifica-se que a massa seca dos frutos foi diferente. Para a massa seca dos grãos, não ocorre ganho significativo quando se compara os 229, 263 e 293 DAF, indicando estabilização de acúmulo de massa nos grãos já aos 229 DAF, à exceção das cultivares MGS Paraíso 2, Catiguá MG2 e IAC 125 RN.

Pelas curvas sigmoidais de acúmulo de massa seca nos frutos e grãos foram estimados os parâmetros CMIN, CMAX e TMA (Tabela 7). Como a curva de acúmulo de massa seca na casca foi representada pelo modelo polinomial cúbico, foram estimados os parâmetros PMAX, PMIN e PMA.

A CMIN obtida para acúmulo de massa seca nos frutos variou entre as cultivares com valores mínimos e máximos de 81 e 107 DAF, respectivamente (Tabela 7). A CMAX de

acúmulo de massa seca indicou o menor valor com 284 DAF e o maior com 336 DAF. O maior valor (4,87 mg dia<sup>-1</sup> fruto<sup>-1</sup>) da taxa máxima de acúmulo de massa seca nos frutos (TMA) foi obtida pela cultivar IAC 125 RN aos 202 DAF, e o menor valor (3,23 mg dia<sup>-1</sup> fruto<sup>-1</sup>) obtido pela progênie H514-7-8-2 e a cultivar MGS Ametista aos 184 e 183 DAF, respectivamente.

Tabela 7 – Curvatura mínima (CMIN) e máxima (CMAX), taxa máxima de acúmulo diário (TMA, mg dia<sup>-1</sup>) no crescimento de massa seca nos frutos e grãos, ponto de máximo (PMAX), mínimo (PMIN) e período de menor acúmulo (PMA) no crescimento de massa seca na casca em 11 cultivares de *Coffea arabica*. Lavras – MG, Brasil.

| Cultivares        | Fruto |      |                      | Grão |      |                      | Casca |      |      |
|-------------------|-------|------|----------------------|------|------|----------------------|-------|------|------|
|                   | CMIN  | CMAX | TMA                  | CMIN | CMAX | TMA                  | PMAX  | PMIN | PMA  |
|                   | DAF   |      | mg dia <sup>-1</sup> | DAF  |      | mg dia <sup>-1</sup> | DAF   |      | Dias |
| MGS C. Pioneira   | 96    | 291  | 3,87 (193)           | 129  | 234  | 3,32 (182)           | 181   | 228  | 47   |
| Paraíso MG H419-1 | 86    | 284  | 3,59 (185)           | 109  | 214  | 2,90 (161)           | 174   | 221  | 47   |
| Catuaí IAC 62     | 100   | 297  | 3,97 (198)           | 133  | 231  | 3,33 (182)           | 175   | 218  | 43   |
| H-29-1-8-5        | 99    | 296  | 4,20 (198)           | 143  | 228  | 3,75 (185)           | 174   | 219  | 45   |
| Topázio MG 1190   | 92    | 324  | 3,31 (208)           | 110  | 249  | 2,26 (180)           | 177   | 223  | 46   |
| MGS Paraíso 2     | 94    | 314  | 3,92 (205)           | 111  | 238  | 2,80 (174)           | 172   | 216  | 44   |
| Catiguá MG2       | 107   | 336  | 4,23 (222)           | 121  | 246  | 2,63 (184)           | 165   | 210  | 45   |
| Pau Brasil MG1    | 100   | 335  | 3,82 (217)           | 112  | 237  | 2,37(174)            | 169   | 212  | 43   |
| H514-7-8-2        | 81    | 286  | 3,23 (184)           | 100  | 231  | 2,25 (166)           | 173   | 217  | 44   |
| IAC 125 RN        | 101   | 302  | 4,87 (202)           | 123  | 229  | 3,62 (176)           | 168   | 213  | 45   |
| MGS Ametista      | 82    | 284  | 3,23 (183)           | 112  | 232  | 2,49 (172)           | 180   | 226  | 46   |

Legenda: Valores entre parênteses indicam o dia em que ocorreu a maior taxa máxima de acúmulo.

Fonte: Do autor (2024).

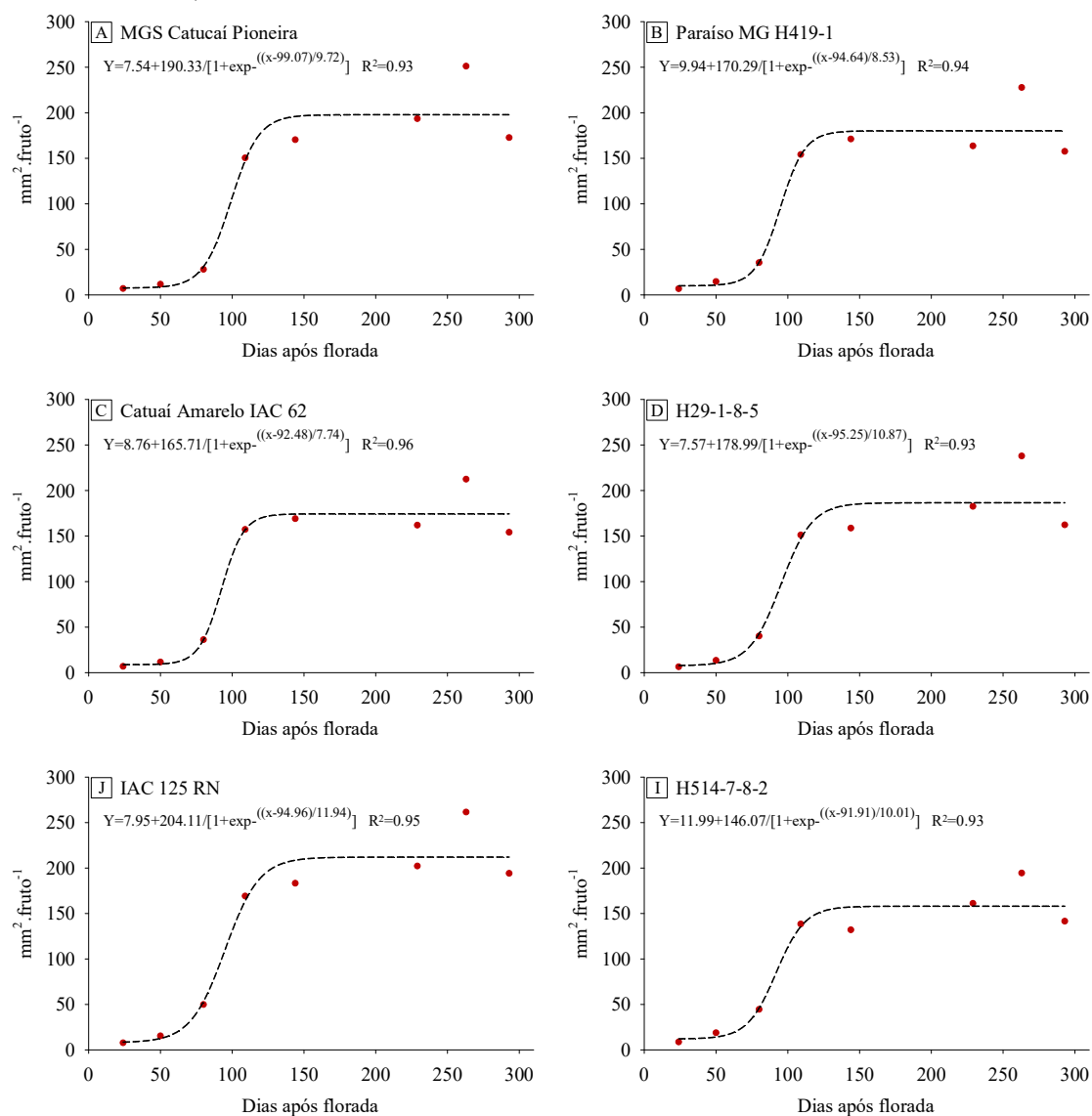
A CMIN para o acúmulo de massa seca nos grãos foi obtida entre os 100 e 143 DAF, a depender da cultivar (Tabela 7). A CMAX foi obtida mais rapidamente pela cultivar Paraíso MG H419-1 aos 214 DAF, e mais tardiamente pela cultivar Topázio MG 1190 aos 249 DAF. A maior taxa de acúmulo de massa seca nos grãos foi obtida pela progênie H29-1-8-5 aos 185 DAF, e o menor valor pela progênie H514-7-8-2 aos 166 DAF.

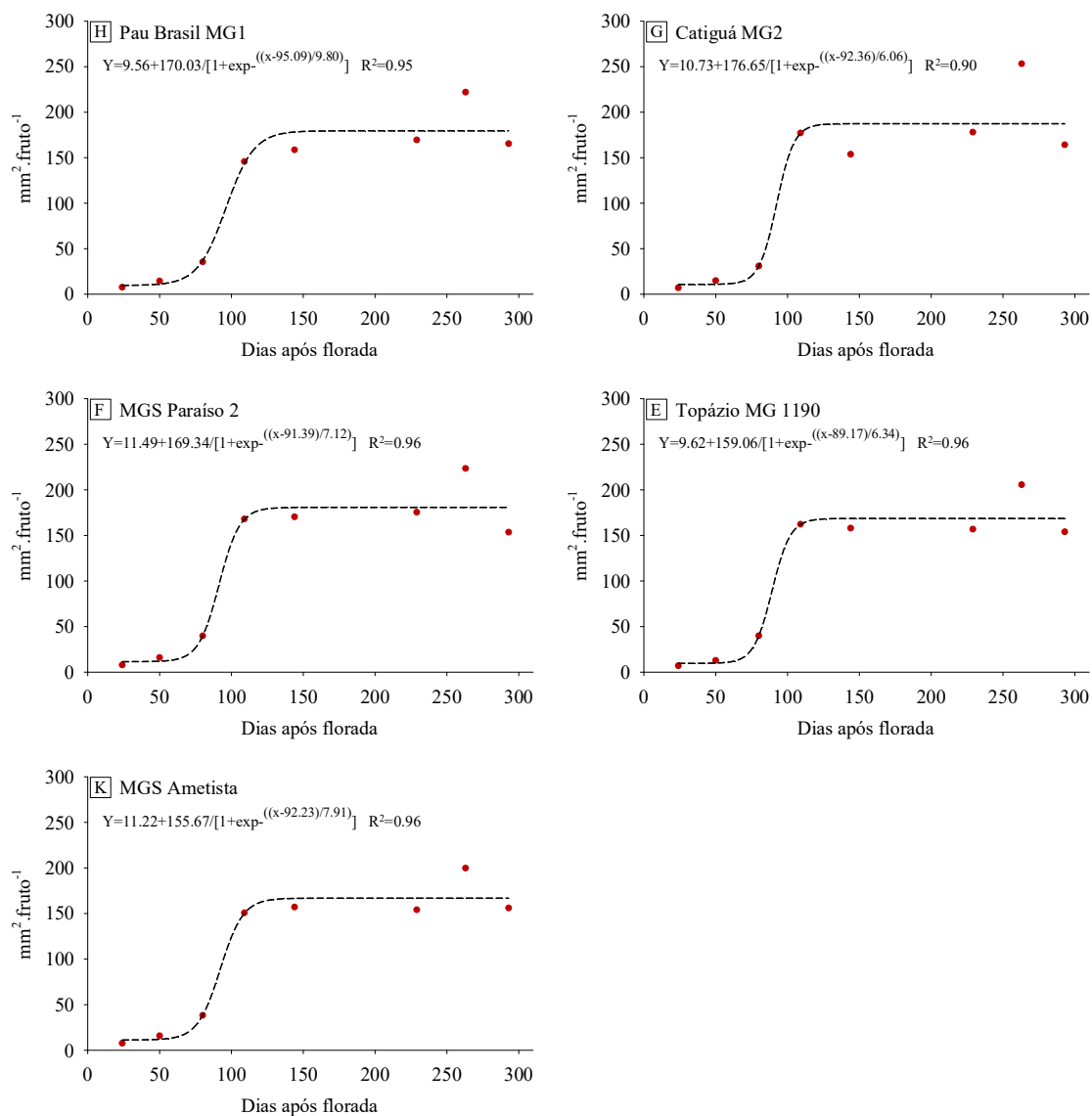
O ponto de máximo (PMAX) no acúmulo de massa seca na casca variou entre as cultivares, sendo 165 DAF o mínimo e 181 DAF o máximo, obtido pelas cultivares Catiguá MG2 e MGS Catucaí Pioneira, respectivamente (Tabela 7). O Ponto de mínimo (PMIN) variou entre as cultivares, sendo 210 DAF o menor valor e 228 DAF o maior. O período em que houve menor acúmulo de massa seca na casca durou 43 dias para o menor período e 47 dias para o maior período.

Semelhante ao acúmulo de massa seca nos frutos e grãos, o crescimento dos frutos em tamanho seguiu o mesmo padrão de desenvolvimento e foi descrito por uma curva sigmoideal (Figura 6). Três períodos bem distintos também puderam ser observados. O primeiro período

foi caracterizado por frutos pequenos e ganhos em tamanho pouco significativos. O segundo período foi caracterizado por rápido ganho em tamanho dos frutos e o terceiro período foi caracterizado por uma estabilização dos frutos em tamanho.

Figura 6 – Tamanho dos frutos de 11 cultivares de *Coffea arabica* em dias após a florada. Lavras – MG, Brasil.





Fonte: Do autor (2024).

Com as curvas sigmoidais de crescimento dos frutos em tamanho os parâmetros CMIN, CMAX e TMCD puderam ser descritos (Tabela 8). A CMIN obtida entre as cultivares teve variação mínima de 71 DAF para a cultivar IAC 125 RN e máxima para a cultivar MGS Catucaí Pioneira e Catiguá MG2. As demais cultivares obtiveram valores entre este intervalo. A CMAX entre as cultivares variou entre 102 DAF (Topázio MG 1190) a 119 DAF (IAC 125 RN). As maiores taxas de crescimento dos frutos em tamanho foram obtidas pela cultivar Catiguá MG2 e Topázio MG 1190, com 7,27 e 6,26 mm<sup>2</sup> dia fruto<sup>-1</sup>.

Tabela 8 – Curvaturas mínimas (CMIN) e máxima (CMAX), taxa máxima de crescimento diário (TMCD,  $\text{mm}^2 \text{dia}^{-1} \text{fruto}^{-1}$ ) e período em dias entre a CMIN e CMAX (CMAX-CMIN) em frutos de 11 cultivares de *Coffea arabica*. Lavras – MG, Brasil.

| Cultivares        | Fruto |      |                                                 |           |
|-------------------|-------|------|-------------------------------------------------|-----------|
|                   | CMIN  | CMAX | TMCD                                            | CMAX-CMIN |
|                   | DAF   |      | $\text{mm}^2 \text{fruto}^{-1} \text{dia}^{-1}$ | dias      |
| MGS C. Pioneira   | 80    | 118  | 4,89 (99)                                       | 38        |
| Paraíso MG H419-1 | 78    | 112  | 4,98 (95)                                       | 34        |
| Catuaí IAC 62     | 77    | 107  | 5,35 (92)                                       | 30        |
| H-29-1-8-5        | 73    | 117  | 4,12 (95)                                       | 44        |
| Topázio MG 1190   | 76    | 102  | 6,26 (89)                                       | 26        |
| MGS Paraíso 2     | 77    | 105  | 5,94 (91)                                       | 28        |
| Catiguá MG2       | 80    | 104  | 7,27 (92)                                       | 24        |
| Pau Brasil MG1    | 76    | 116  | 4,33 (96)                                       | 40        |
| H514-7-8-2        | 72    | 112  | 3,65 (92)                                       | 40        |
| IAC 125 RN        | 71    | 119  | 4,27 (95)                                       | 48        |
| MGS Ametista      | 76    | 108  | 4,91 (92)                                       | 32        |

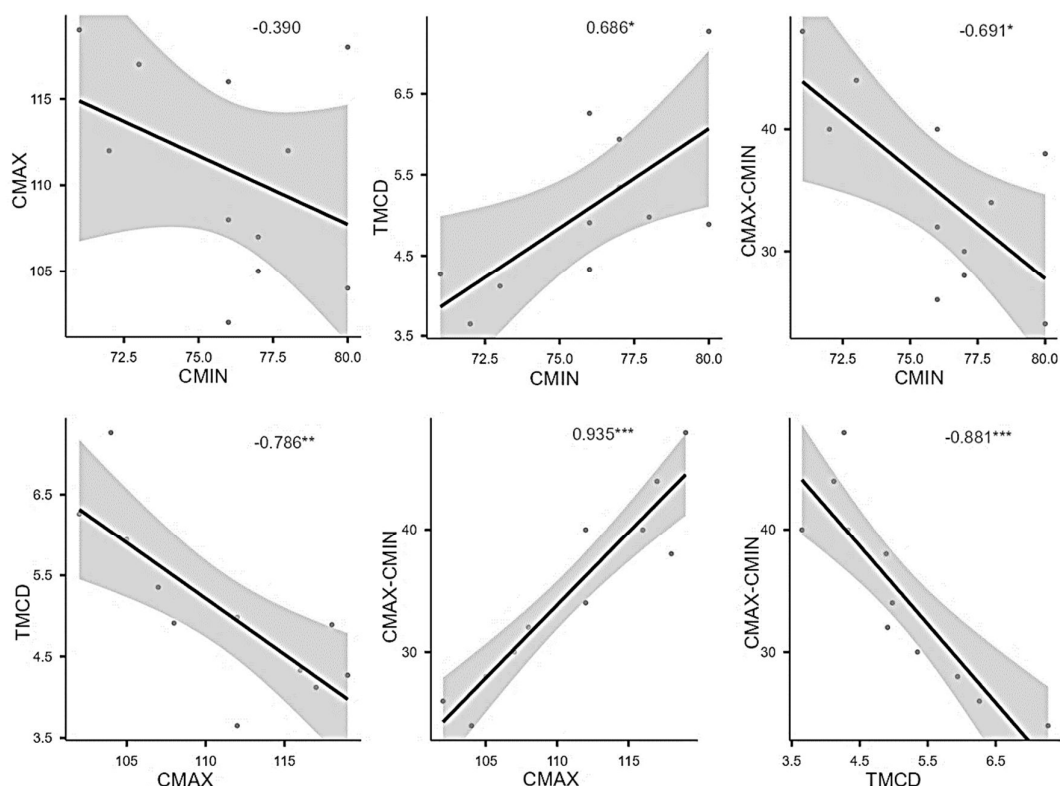
Legenda: Valores entre parênteses indicam o dia em que ocorreu a maior taxa máxima de crescimento diário dos frutos.

Fonte: Do autor (2024).

Houve correlação significativa entre a CMIN e TMDC e CMAX e TMDC (Figura 7). A correlação entre CMIN e TMDC foi diretamente proporcional, indicando que quanto menor os dias após a florada que se inicia os aumentos significativos no tamanho dos frutos (CMIN) das cultivares, menor também foi a taxa de crescimento máximo que a cultivar alcança (TMCD).

Houve correlação negativa significativa entre CMAX-CMIN e TMCD (Figura 7), demonstrando que o quanto menor o período em número de dias entre a CMIN e CMAX, maior foi a TMDC alcançada.

Figura 7 – Correlação de Pearson entre curvatura mínima (CMIN), máxima (CMAX), taxa máxima de crescimento diário (TMCD) e período ocorrido entre CMIN e CMAX (CMAX-CMIN) para a curva de crescimento dos frutos em tamanho em cultivares de *Coffea arabica*. Nota. \*  $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$ . Lavras, MG – Brasil.



Fonte: Do autor (2024).

### 3.3 Delimitação dos estádios de desenvolvimento dos frutos

As curvas de acúmulo de massa seca e crescimento do fruto em tamanho foram utilizadas para determinar os períodos de duração de cada estágio fenológico das cultivares (Tabela 9). O estágio chumbinho teve duração de 71 a 80 dias, a depender das cultivares. O período deste estágio foi determinado pelo intervalo entre a antese floral e o início dos ganhos significativos no tamanho dos frutos das cultivares.

Tabela 9 – Caracterização dos estádios de desenvolvimento dos frutos de 11 cultivares de *Coffea arabica* com base nas curvas de acúmulo de matéria seca e tamanho dos frutos durante o período reprodutivo. Lavras – MG, Brasil.

| Cultivares        | Chumbinho | Expansão rápida | Crescimento suspenso | Granação      | Maturação    |
|-------------------|-----------|-----------------|----------------------|---------------|--------------|
| MGS C. Pioneira   | 0-80 (80) | 80-118 (38)     | 118-129 (11)         | 129-234 (105) | 234-263 (29) |
| Paraíso MG H419-1 | 0-78 (78) | 78-112 (34)     | 112-109 (-3)         | 109-214 (105) | 214-263 (49) |
| Catuaí IAC 62     | 0-77 (77) | 77-107 (30)     | 107-133 (26)         | 133-231 (98)  | 231-263 (32) |
| H-29-1-8-5        | 0-73 (73) | 73-117 (44)     | 117-143 (26)         | 143-228 (85)  | 228-263 (35) |
| Topázio MG 1190   | 0-76 (76) | 76-102 (26)     | 102-110 (8)          | 110-249 (139) | 249-263 (14) |
| MGS Paraíso 2     | 0-77 (77) | 77-105 (28)     | 105-111 (6)          | 111-238 (127) | 238-263 (25) |
| Catiguá MG2       | 0-80 (80) | 80-104 (24)     | 104-121 (17)         | 121-246 (125) | 246-263 (17) |
| Pau Brasil MG1    | 0-76 (76) | 76-116 (40)     | 116-112 (-4)         | 112-237 (125) | 237-263 (26) |

|              |           |             |               |               |              |
|--------------|-----------|-------------|---------------|---------------|--------------|
| H514-7-8-2   | 0-72 (72) | 72-112 (40) | 112-100 (-12) | 100-231 (131) | 231-263 (32) |
| IAC 125 RN   | 0-71 (71) | 71-119 (48) | 119-123 (4)   | 123-229 (106) | 229-263 (34) |
| MGS Ametista | 0-76 (76) | 76-108 (32) | 108-112 (-4)  | 112-232 (120) | 232-293 (61) |

Legenda: Valores entre parênteses representam a duração em dias dos estádios.

Fonte: Do autor (2024).

O estágio de expansão rápida teve duração entre 32 a 48 dias e foi caracterizado pelo rápido crescimento dos frutos em tamanho (Tabela 9). Este estágio foi determinado pelo início dos ganhos significativos em tamanho dos frutos (CMIN) até o momento em que ocorre uma estabilização (CMAX).

O estágio de crescimento suspenso teve duração entre 4 a 26 DAF e foi definido pela estabilização dos frutos no aumento de tamanho (Tabela 9). A delimitação deste estágio compreendeu o período de estabilização no tamanho dos frutos (CMAX) até o início dos ganhos expressivos no acúmulo de massa seca nos grãos. Utilizando estes critérios para delimitar este estágio fenológico, não foi possível para as cultivares Paraíso MG H419-1, Pau Brasil MG1, MGS Ametista e a progênie H514-7-8-2 identificar a duração deste estágio.

O estágio de granação foi determinado pelo início dos ganhos expressivos de massa seca nos grãos até a estabilização dos ganhos de massa seca neste órgão (Tabela 9). A granação durou 85 a 139 dias. O estágio de maturação se iniciou a partir da estabilização dos grãos em ganho de massa seca até o período em que se identificou que os frutos coletados estavam maduros, sendo esta característica definida pela cor dos frutos, vermelhos ou amarelos a depender da cultivar (Figura 8). A amplitude mínima e máxima da duração do período de maturação foi obtida pela cultivar Topázio MG 1190 (14 dias) e MGS Ametista (61 dias).

Figura 8 – Característica visual dos frutos de 11 cultivares de *Coffea arabica* em dias após florada. Lavras, MG – Brasil.

| <b>Cultivares</b> | <b>109 DAF</b>                                                                      | <b>144 DAF</b>                                                                      | <b>229 DAF</b>                                                                        | <b>263 DAF</b>                                                                        |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| MGS C. Pioneira   |    |    |    |    |
| Paraíso H419-1    |    |    |    |    |
| Catuaí IAC 62     |    |    |    |    |
| H29-1-8-5         |    |    |    |    |
| Topázio MG 1190   |   |   |   |   |
| MGS Paraíso 2     |  |  |  |  |
| Catiguá MG2       |  |  |  |  |
| Pau Brasil MG1    |  |  |  |  |
| H514-7-8-2        |  |  |  |  |
| IAC 125 RN        |  |  |  |  |
| MGS Ametista      |  |  |  |  |

Fonte: Do autor (2024).

## 4 DISCUSSÃO

### 4.1 Produtividade e acúmulo de massa seca em ramos e folhas

Observou-se que as cultivares que mais produziram foram também os que obtiveram a menor massa seca das folhas e da planta como um todo, resultados também confirmados pela correlação inversamente proporcional entre a produtividade e a massa seca da planta e folhas. As cultivares MGS Ametista e IAC 125 RN obtiveram as maiores produtividades e menores valores de massa seca da planta. Segundo Rena e Carvalho (2003), durante a formação dos frutos, há um decréscimo no teor de amido dos ramos e das folhas, sendo tanto mais intenso quanto maior a produção, podendo esgotar-se totalmente muito antes do amadurecimento dos frutos. Além disso, outros trabalhos mostram que os frutos são os drenos prioritários, assim, a maior carga de frutos também aumenta a força do dreno (Bote; Jan, 2016; Vaast *et al.*, 2005; Muñoz; Bejarano e Acuña, 2021). Estudo realizado por Vaast *et al.* (2005) mostrou que plantas com maior carga de frutos diminui significativamente o crescimento dos ramos nas plantas de café arábica, e que a alocação de massa seca nos frutos foi quatro vezes maior que a alocada para o crescimento dos ramos durante o ciclo.

### 4.2 Crescimento dos frutos em tamanho e massa seca

No início do desenvolvimento dos frutos, primeiros dias após antese floral foi observado pouca variabilidade entre as cultivares para massa seca dos frutos, casca e grãos quando foram comparados. Isto indica que, apesar das diferenças genotípicas entre os indivíduos estudados, como por exemplo no tamanho dos frutos, o acúmulo de massa seca é pouco variável nos períodos iniciais de desenvolvimento. As diferenças entre as cultivares para a massa seca acumulada nos frutos são observadas com maior intensidade somente após os 203 DAF, quando os frutos já tingiram o maior tamanho e também já acumularam boa quantidade de massa seca.

Foi destacado o contraste entre as cultivares IAC 125 RN e MGS Ametista para o acúmulo de massa seca nos frutos, a primeira com maior a massa seca e a segunda, a menor. Diversos fatores ambientais podem influenciar o acúmulo de massa seca nos frutos de café arábica, como por exemplo a altitude da região (Laviola *et al.*, 2008). No entanto, considerando que as cultivares pertenciam ao mesmo ambiente de cultivo, a variação no acúmulo de massa

seca nos frutos, na casca e nos grãos é atribuído às diferenças genotípicas. As cultivares estudadas possuem origem de cruzamento com genitores distintos, e o tamanho característico dos frutos pode ser herdado (Gokavi *et al.*, 2023). O maior tamanho do fruto da cultivar IAC 125 RN proporciona também maior acúmulo de massa seca por fruto, e inversamente ocorre para a cultivar MGS Ametista.

Pelos resultados nota-se que o crescimento dos frutos e grãos em massa seca de todas as cultivares estudadas, independente da origem e características individuais como tamanho do fruto, podem ser representados por modelos sigmoidais. O bom ajuste das curvas em relação aos dados coletados foi verificado pelos coeficientes de determinação, assim como observado por Adler *et al.* (2014) estudando o crescimento de frutos de café da variedade Laurina e Bourbon obteve coeficiente de determinação de 0,98. Curvas de acúmulo de massa seca tem sido também utilizada por outros autores para descrever o desenvolvimento de frutos de café. Fernandes *et al.* (2014) e Cunha e Volpe (2011) observaram que os modelos sigmoidais são adequados na descrição do crescimento dos frutos da cultivar de café arábica Obatã IAC 1669-20, fornecendo parâmetros com interpretações práticas. O crescimento dos frutos de café arábica utilizando modelos sigmoidais também foi descrito por outros autores (Silva; Volpe, 2005; Ocampo-Agudelo *et al.*, 2010; Adler *et al.*, 2015; Pérez *et al.*, 2023).

A caracterização das curvas obtidas para o tamanho e acúmulo de massa seca nos frutos e grãos indicaram três períodos distintos. Silva e Volpe (2005) para a cultivar Acaiá Cerrado MG 1474 e Cunha e Volpe (2011) para a cultivar Obatã IAC 1669-20 também observaram este padrão de crescimento dos frutos e relataram que a evolução da curva sigmoideal apresenta três fases de crescimento. A primeira fase é caracterizada por um rápido crescimento inicial com concavidade voltada para cima, a segunda fase a curva tende a linearidade obtendo ganhos expressivos de massa seca e a terceira fase se caracteriza por um crescimento pouco expressivo, apresentando no final uma nítida tendência de concavidade voltada para baixo.

O crescimento dos frutos em massa seca em cada período é o resultado da soma do acúmulo de massa seca nos grãos e na casca. Observando a dinâmica de crescimento dos frutos, grãos e massa seca em conjunto foi possível identificar que o acúmulo de massa seca nos frutos é, em determinado período, representado predominantemente pelo acúmulo de massa seca na casca e, noutro período, representado predominantemente pelo acúmulo de massa seca nos grãos.

No primeiro período de crescimento dos frutos após a florada, o acúmulo de massa seca nos frutos é representado majoritariamente pelo acúmulo de massa seca na casca. De fato, segundo Li *et al.* (2021) nos dias iniciais após a florada, forma-se prioritariamente os tecidos

que representam a casca dos frutos, sendo exocarpo, mesocarpo e endocarpo. Após a fase inicial, um segundo período pode ser visualizado no crescimento dos frutos, e este período foi caracterizado pelo maior crescimento dos grãos em massa seca em comparação a casca. Assim, neste segundo período, o endosperma que representa os grãos, são formados e ocupam boa parte do espaço interno dos frutos, como descreve De Castro e Marraccini (2006). Na terceira etapa, a casca retoma o acúmulo de massa seca nos frutos, e os grãos neste período não acumulam valores significativos de massa seca nos frutos. A comparação dos valores de massa seca nos grãos nos três últimos períodos de coleta para cada cultivar (Tabela 6) confirmou a informação que a curva, pelo seu comportamento, já indicava, ou seja, de que não há diferenças significativas entre a massa seca dos grãos nos últimos períodos. Esta informação tem um resultado prático principalmente em relação ao manejo da colheita.

Os resultados indicam que no final do desenvolvimento dos frutos os fotoassimilados que são direcionados para os frutos são alocados para o acúmulo de massa seca na casca e pouco se ganha no produto comercial que são os grãos, já que seu máximo acúmulo ocorre anteriormente ao acúmulo máximo dos frutos. Assim, a colheita no período adequado pode possibilitar a planta realocar os fotoassimilados que iriam para a casca para outras funções. Os estudos de Bote e Jan (2016) mostraram que existe uma forte competição entre o crescimento dos frutos e o crescimento dos ramos, sendo os frutos um dreno dominante sobre o crescimento vegetativo. Os resultados do estudo destes autores mostraram que a retirada dos frutos beneficia a produtividade do café na próxima safra, como também observados por Bordin *et al.* (2022). Muñoz; Bejarano; Acuña (2021) estudaram a relação fonte e dreno entre os frutos e folhas de café arábica e concluíram que os carboidratos produzidos nas folhas são predominantemente repartidos em direção aos frutos. Assim, a colheita dos frutos no momento em que os grãos não possuem mais acúmulo significativo de massa seca poderá contribuir com os órgãos de crescimento vegetativo pela retirada do dreno principal.

Além de não acumular quantidade significativa de massa seca nos grãos nos últimos períodos de desenvolvimento dos frutos, as curvas de acúmulo de massa seca nos grãos mostraram tendência de uma concavidade voltada para baixo, mais facilmente visualizada para a progênie H514-7-8-2 (Figura 5). Isto indica a possibilidade de perda de peso nos grãos com a manutenção dos frutos nas plantas por longos períodos após o máximo enchimento dos grãos. Estas observações corroboram com um estudo realizado por Pérez *et al.* (2023), no qual o peso seco dos frutos atingiu valores máximos no estágio de maturação e diminuiu o peso após isto.

Segundo Eira *et al.* (2006) a semente pode perder peso seco assim que atingir a maturidade, enquanto os frutos inteiros ainda podem acumular peso seco se ficarem presos por

mais tempo à planta. Ligeiras reduções no peso seco das sementes, uma vez atingida a maturidade, podem ser explicadas pela interrupção da translocação de fotoassimilados do fruto para a semente, bem como pelo consumo de energia necessária para a respiração durante os estádios totalmente maduros (Carvalho; Nakagawa, 1980). Eira *et al.* (2006) ainda destacam que a perda de peso seco das sementes também pode ser decorrente da deterioração, comumente observada nas sementes que permanecem no campo após a maturidade fisiológica, e ainda pode ocorrer o acúmulo contínuo de peso seco na polpa dos frutos como resultado da translocação ou troca de fotoassimilados entre a polpa e a semente com um efluxo líquido da semente para a polpa.

Os parâmetros obtidos por meio das curvas de acúmulo de massa seca trouxeram importantes informações. De acordo com Fernandes *et al.* (2014), os parâmetros obtidos por meio de curvas de acúmulo de massa seca possuem relevância prática. A curvatura mínima (CMIN) indicou para cada cultivar o momento em que os ganhos significativos em massa seca se iniciam para os frutos e os grãos. Nos frutos, este momento inicia primeiro para a progênie H514-7-8-2 e por último para a cultivar Catiguá MG2. Nos grãos, os ganhos significativos iniciam primeiro para a progênie H514-7-8-2 e por último para a progênie H29-1-8-5. De acordo com Laviola *et al.* (2007), os valores para a curvatura mínima, que sinaliza onde inicia os ganhos mais expressivos em massa seca, são importantes indicadores para verificar o período em que é imprescindível que os nutrientes já estejam disponíveis para a absorção pelo sistema radicular, sendo antes do início do estágio de expansão rápida dos frutos.

A curvatura máxima (CMAX) no acúmulo de massa seca nos frutos foi obtida mais tardiamente em relação aos grãos, sendo observada, independente da cultivar a partir dos 284 DAF. Já nos grãos a CMAX foi obtida a partir dos 214 DAF. Como a CMIN indica o momento em que inicia os ganhos significativos em massa seca e a CMAX indica o momento em que ocorre a estabilização no acúmulo de massa seca, o intervalo em dias entre estes dois parâmetros compreende o período de maior demanda dos frutos pela planta. De acordo com Laviola *et al.* (2008) o período compreendido entre a curvatura mínima e a curvatura máxima do ciclo está relacionado ao período em que se devem fazer as práticas de adubações. E ainda, considerando este um período crítico de acúmulo de massa seca, é importante que seja fornecida para a planta todas as condições ideais, como disponibilidade de água e manejo fitossanitário, para que se atinja o maior potencial de desenvolvimento do fruto.

A taxa máxima de acúmulo diário (TMA) variou entre as cultivares e o período em que foi verificada. A TMA indica o momento em que ocorre o maior acúmulo de massa seca nos órgãos, e foi distinto entre as cultivares avaliadas. De modo geral, a maior TMA de massa seca

das cultivares ocorreu entre os 183 a 222 DAF para os frutos e 161 a 184 DAF para os grãos. Laviola *et al.* (2007) observaram que o período em que ocorreu a taxa máxima de acúmulo diário de massa seca nos frutos foi variável de acordo com a altitude, mas que de modo geral ocorreu entre os 154 a 197 DAF, o que não difere em grande magnitude dos resultados do presente estudo.

Para as curvas obtidas pelo crescimento dos frutos em tamanho, os parâmetros CMIN, CMAX, TMCD e CMAX-CMIN puderam ser comparados para cada cultivar. A correlação entre a curvatura mínima (CMIN) e a taxa máxima de crescimento diário (TMCD) mostrou que as cultivares que iniciam mais precocemente os ganhos expressivos em tamanho do fruto possuem os menores valores para taxa máxima de crescimento diário. Esta correlação pode ser observada para os resultados das progênies H514-7-8-2, H29-1-8-5 e a cultivar IAC 125 RN, que iniciaram os ganhos expressivos em tamanho dos frutos mais rapidamente em relação as demais cultivares e ao mesmo tempo atingiram os menores valores de TMCD.

Outra importante correlação observada nos resultados ocorreu entre a CMAX-CMIN e TMCD. Esta correlação foi inversamente proporcional, o que significa que os frutos que necessitam menor tempo para alcançar maiores tamanhos de fruto possuem também maiores TMCD's. Com este resultado é possível observar que existe entre as cultivares uma compensação ao iniciar os ganhos significativos mais tardiamente ou mais precocemente. Essa compensação ocorre pela maior ou menor taxa máxima de crescimento diário. Assim, as cultivares que iniciam primeiro os ganhos mais expressivos em crescimento do fruto possuem maior tempo para atingir o crescimento máximo. Neste caso, a compensação no crescimento dos frutos em tamanho se dá por menores TMDC's. Inversamente, as cultivares que iniciam mais tardiamente o crescimento expressivo no tamanho dos frutos possuem menor tempo para atingir o crescimento máximo do fruto. Como as cultivares possuem neste caso um menor período para que atinjam o crescimento máximo dos frutos, a compensação ocorre por maiores TMCD's. Estas observações podem ser utilizadas para iniciar um determinado manejo, como por exemplo adubação e irrigação, considerando as especificidades de cada cultivar.

#### **4.3 Delimitação dos estádios de desenvolvimento dos frutos**

As curvas de acúmulo de massa seca e tamanho do fruto foram eficientes em distinguir os estádios fenológicos do desenvolvimento dos frutos. Os cinco estádios de desenvolvimento, como descreve Rena, Barros e Maestri (2001) puderam ser delimitados, sendo denominados de chumbinho, expansão rápida, crescimento suspenso, granação e maturação. Laviola *et al.*

(2007, 2008) estudando o acúmulo de massa seca nos frutos da cultivar Catuaí Vermelho IAC 44 observaram que foi possível, com base nas curvas sigmoidais, distinguir os cinco estádios de formação dos frutos.

O primeiro estágio de desenvolvimento, denominado chumbinho, teve duração de 71 a 80 dias, a depender das cultivares. Este estágio é caracterizado pelo baixo crescimento dos frutos, tanto em tamanho quanto em acúmulo de massa seca. Além disso, neste estágio de desenvolvimento não é possível observar a presença de formação do endosperma (Geromel *et al.*, 2006), motivo pelo qual não houve a separação dos frutos em casca e grãos nas duas primeiras coletas de frutos.

A fase de expansão rápida foi delimitada principalmente pelo aumento expressivo no tamanho dos frutos seguido pela estabilização no crescimento. A extensão deste estágio foi variável entre as cultivares podendo ser observado 30 dias para a menor duração e 48 dias para a maior. Estes resultados corroboram com o estudo de Laviola *et al.* (2007) delimitando o estágio de expansão rápida em aproximadamente 30 dias. Este estágio é caracterizado pelo alongamento das células do fruto com deposição de material de parede, sendo essencial o fluxo de água para o fruto neste processo, o que o faz atingir cerca de 80% do seu tamanho final, e que segundo Laviola *et al.* (2007) é uma fase de acúmulo de nutrientes no fruto. De acordo com Li *et al.* (2021) a rápida expansão dos frutos ocorre devido ao crescimento proeminente do perisperma, enquanto o endosperma é apenas residual.

Este foi o único estágio de desenvolvimento dos frutos que não foi possível identificar por meio das curvas sua delimitação em todas as cultivares. Para as cultivares Paraíso MG H419-1, Pau Brasil MG1, H514-7-8-2 e MGS Ametista não foi possível detectar o período de crescimento lento. Para estes genótipos observou-se que após a expansão rápida, os frutos iniciaram imediatamente o enchimento de grãos, sendo este estágio o de granação. No entanto, para a maior parte das cultivares, um período de crescimento lento pode ser observado, variando entre 4 a 26 dias. Resultados semelhantes foram encontrados por Laviola *et al.* (2008) na delimitação dos estádios fenológicos por meio das curvas de acúmulo de massa seca. Estes autores observaram que o estágio de crescimento lento teve duração variando de 5 a 17 dias. De acordo com DaMatta *et al.* (2007), a fase de crescimento suspenso dura aproximadamente duas semanas, quando o fruto atinge o tamanho final, mas sua matéria seca ainda é baixa.

O estágio de granação teve duração variando entre 85 dias a 139 dias, a depender da cultivar que se avalia. Como no estudo realizou-se a separação dos frutos em grãos e casca, a delimitação deste estágio foi eficiente devido a precisão em identificar quando se inicia e termina os ganhos mais expressivos de massa seca nos grãos. Laviola *et al.* (2007) observaram

que o estágio de granação iniciou-se aproximadamente aos 114 DAF. No estágio de granação, também chamado de enchimento do endosperma, a matéria seca é depositada, principalmente, nas sementes (Rena; Barros; Maestri, 2001). De acordo com Li *et al.* (2021), este período corresponde a fase de armazenamento, na qual, o endosperma começa a acumular proteínas de armazenamento, triacilgliceróis, alcaloides como a cafeína e quantidades elevadas de ácidos clorogênicos.

A maturação foi determinada pela coloração dos frutos das cultivares em cada período de coleta. Foi observado que todas cultivares obtinham coloração vermelha ou amarela dos frutos na coleta de 263 DAF, com exceção da cultivar MGS Ametista que tinha frutos ainda considerados com coloração verde-cana, atingindo a maturação na visualização dos frutos da próxima coleta, aos 293 DAF. Li *et al.* (2021) explicam que a fase de maturação está associada ao amolecimento e pigmentação dos diferentes tecidos que compõem o pericarpo. O exocarpo torna-se finalmente vermelho ou amarelo, a depender da cultivar; as densas paredes celulares das células do parênquima que formam o mesocarpo (polpa) tornam-se mais finas, e o endocarpo (conhecido como pergaminho) torna-se mais duro e lignificado para proteger a semente contra insetos frugívoros (De Castro; Marraccini, 2006; Adler *et al.*, 2015).

## 5 CONCLUSÕES

Dividir os frutos em casca e grão possibilita entender qual parte é responsável pelo maior acúmulo de massa seca dos frutos nos diferentes estádios de desenvolvimento.

O maior acúmulo de massa seca nos frutos ocorre anteriormente ao maior acúmulo de massa seca nos grãos.

A casca é o dreno principal dos frutos nos estádios finais de desenvolvimento.

A estimativa dos períodos de acúmulo de massa seca pode atuar como indicação dos manejos da lavoura, principalmente quanto à nutrição das plantas.

Curvas de acúmulo de massa seca e crescimento dos frutos em tamanho são eficientes para delimitar os estádios fenológicos dos diferentes cultivares de café.

## REFERÊNCIAS

- ADLER, Sophie *et al.* Variations in cell wall monosaccharide composition during seed development in *Coffea arabica* L. Comparison between *Coffea arabica* var. Bourbon and *Coffea arabica* var. Laurina. **Trees**, v.29, p.1871–1881, 2015.
- ADLER, Sophie *et al.* Morphological and histological impacts of the laurina mutation on fructification and seed characteristics in *Coffea arabica* L. **Trees**, v.28, p.85–595, 2014.
- BORDIN, Bárbara Cristina de Melo *et al.* Influência de diferentes épocas de colheita sob a produtividade do cafeeiro *Coffea arabica*, no cerrado mineiro. In: XXII SIMPÓSIO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 22., 2022, Araguari-MG. **Anais [...]** Araguari-MG: Associação dos Cafeicultores de Araguari, 2022.
- BOTE, Adugna Debela; JAN, Vos. Branch growth dynamics, photosynthesis, yield and bean size distribution in response to fruit load manipulation in coffee trees. **Trees**, v.30, p.1275–1285, 2016.
- CARVALHO, Gladyston Rodrigues *et al.* **Cafeicultura do Cerrado**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2021.
- CARVALHO, Nelson Moreira de; NAKAGAWA, João. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. Campinas: Fundação Cargill, 1980.
- RATKOWSKY, Davi A. **Nonlinear Regression Modeling: a Unified Practical Approach**. New York: Marcel Dekker, 1983.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: Quarto Levantamento**. [Brasília: CONAB, 2023]. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>. Acesso em: 15 dez. 2023.
- COVRE, André Monzoli *et al.* How is the fruit development of *Coffea canephora* trees modulated by the water supply? An analysis of growth curves for irrigated and rainfed systems. **Semina: Ciências Agrárias**, v.43, n.5, p.2359–2374, 2022.
- CUNHA, Antonio Ribeiro; VOLPE, Clovis Alberto. Growth curves of coffee fruits Obatã IAC 1669-20 in different alignments planting. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 49-62, 2011.
- DaMATTA, Fabio M. *et al.* Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.19, n.4, p.485-510, 2007.
- DE CASTRO, Renato D.; MARRACCINI, Pierre. Cytology, biochemistry and molecular changes during coffee fruit development. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.18, n.1, p.175-199, 2006.
- DUBBERSTEIN, Danielly *et al.* Concentration and accumulation of micronutrients in robust coffee. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.41, e42685, 2019.

EIRA, Mirian T. S. *et al.* Coffee seed physiology. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.18, n.1, p.149–163, 2006.

FERNANDES, Jaqueline Gonçalves *et al.* Description of the peach fruit growth curve by diphasic sigmoidal nonlinear models. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 2022, v. 44, n. 3, e-875, 2022.

FERNANDES, Tales Jesus *et al.* Selection of nonlinear models for the description of the growth curves of coffee fruit. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 207-215, 2014.

GEROMEL, Clara *et al.* Biochemical and genomic analysis of sucrose metabolism during coffee (*Coffea arabica*) fruit development. **Journal of Experimental Botany**, v.57, n.12, p.3243-3258, 2006.

GOKAVI, Nagaraj *et al.* Genetic variability, heritability and genetic advance for quantitative traits of Arabica coffee (*Coffea arabica* L.) genotypes. **Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization**, v.21, n.3, p.260-268, 2023.

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION. **Coffee Market Report**. Disponível em: <https://www.icocoffee.org/documents/cy2023-24/cmr-1023-e.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2023.

LAVIOLA, Bruno Galvêas *et al.* Acúmulo em frutos e variação na concentração foliar de NPK em cafeeiro cultivado em quatro altitudes. **Bioscience Journal**, v. 24, n.1, p.19-31, 2008.

LAVIOLA, Bruno Galvêas *et al.* Acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro em quatro altitudes de cultivo: cálcio, magnésio e enxofre. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.6, p.1451-1462, 2007.

LI, Zheng *et al.* Coffee cell walls: composition, influence on cup quality and opportunities for coffee improvements. **Food Quality and Safety**, v.5, p.1–21, 2021.

MERGA, Dawit; BEKASISA, Lemi. Mechanisms of Drought Tolerance in Coffee (*Coffea arabica* L.): Implication for Genetic Improvement Program: Review. **American Journal of BioScience**, v.11, n.3, p.63-70, 2023.

MIGUEZ, Fernando; ARCHONTOULIS, Sotirios; DOKOOHAKI, Hamze. Nonlinear Regression Models and Applications. In: Glaz, B. and K.M. Yeater (eds.). Applied statistics in agricultural, biological, and environmental sciences. **American Society of Agronomy**; Wiley, Madison, WI. 2018.

MORAIS, Guilherme Smassaro *et al.* Modelagem do crescimento de frutos de pêssego UFES - CS 01. **DELOS: Desarrollo Local Sostenible**, v.16, n.46, p.2344–2352, 2023.

MUÑOZ, Carlos Andres Unigarro; BEJARANO, Lina Marcela Díaz; ACUÑA, José Ricardo. Effect of fruit load of the first coffee harvests on leaf gas exchange. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.51, e69865, 2021.

OCAMPO-AGUDELO, Diana María *et al.* Intercambio de dióxido de carbono y cambios bioquímicos en el pericarpio durante el desarrollo del fruto del cafeto. **Cenicafé**, v.61, n.4, p.327-343, 2010.

PARTELLI, Fábio Luiz *et al.* Dry matter and macronutrient accumulation in fruits of Conilon coffee with different ripening cycles. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.1, p.214–222, 2014.

PÉREZ, Valentina Osorio *et al.* Chemical Composition and Sensory Quality of Coffee Fruits at Different Stages of Maturity. **Agronomy**, v.13, n.2, 341, 2023.

RENA, Alemar Braga; CARVALHO, Carlos Henrique Siqueira de. Causas abióticas da seca de ramos e morte de raízes em café. *In*: ZAMBOLIM, Laércio. (Ed.). **Produção integrada de café**. Viçosa, MG: UFV, 2003. p. 197-222.

RENA, Alemar Braga; BARROS, Raimundo S.; MAESTRI, Moacyr. Desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro. *In*: ZAMBOLIM, Laércio. **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2001. p.101-128.

SANTOS, Karina Tiemi Hassuda dos *et al.* Fruit Mass of *Carica papaya* L. from Cultivars Aliança and THB from the Width and Length of the Fruit. **Agricultural Sciences**, v.12, n.1, 2021.

SENRA, João Felipe Brites *et al.* Seleção de modelos não lineares e o estudo do crescimento dos frutos de café conilon. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 4, e21511427093, 2022.

SILVA, Wilson Jesus da; VOLPE, Clovis Alberto. Crescimento do fruto do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cv. Acaiá, CP 474/19 e suas relações com variáveis meteorológicas em dois sistemas de plantio, no cerrado de Uberaba-MG. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba, v. 13, n. 2, p. 292-302, 2005.

SILVA, Walleff Silva *et al.* *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* growth curve in different site classifications, considering residual autocorrelation. **Brazilian Journal of Biometrics**, v.39, n.1, p.122–138, 2021.

VAAST, Philippe *et al.* Fruit load and branch ring-barking affect carbon allocation and photosynthesis of leaf and fruit of *Coffea arabica* in the field. **Tree Physiology**, v.25, n.6, p.753–760, 2005.

VENEGAS, José G.; HARRIS, Scott R.; SIMON, Brett A. A comprehensive equation for the pulmonary pressure-volume curve. **American Physiological Society**, v.84, n.1, p.389- 395, 1998.

## ARTIGO 2 - COLHEITA MECANIZADA EM CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA

### RESUMO

Os processos no cultivo do café estão cada vez mais mecanizados. Dentre as etapas do sistema de produção destaca-se a colheita dos frutos devido ao seu elevado custo e importância para a obtenção do resultado econômico. Para áreas mecanizáveis, principalmente, ou a cultivar se adapta ao sistema de colheita ou ela não será plantada. Poucos estudos foram realizados para comparar diferentes cultivares de café arábica e classificá-las em relação à aptidão à colheita mecanizada. A compreensão da dinâmica de cada cultivar quando submetida à colheita mecanizada pode auxiliar no desenvolvimento e recomendação de cultivares e possíveis ajustes nas máquinas ou processos. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência de colheita mecânica e os danos causados a diferentes cultivares de *Coffea arabica*. O experimento foi conduzido sob delineamento experimental em blocos completos casualizados, com quatro repetições. Foi avaliada a eficiência de derriça, café não derriçado pela colhedora, a perda de café, a eficiência de colheita, os danos por desfolha e quebra de ramos em 11 cultivares de café arábica. Além disso, as cultivares foram caracterizadas em relação à altura, diâmetro da copa, número de ramos plagiotrópicos primários, vigor vegetativo, maturação e força de desprendimento dos frutos. Estas características foram correlacionadas com os parâmetros de eficiência de colheita e danos causados pela colhedora. As cultivares Topázio MG 1190, MGS Paraíso 2 e a progênie H514-7-8-2 se destacaram na primeira e segunda safra estando entre os grupos com os maiores valores de eficiência de derriça. As cultivares MGS Ametista e Paraíso MG H419-1 foram relacionadas aos menores danos por desfolha, massa de ramos quebrados e danos totais. Os resultados obtidos possibilitaram verificar a existência de variabilidade para os parâmetros relacionados a colheita mecanizada, identificando-se cultivares de *Coffea arabica* com maior aptidão à mecanização da colheita. O índice de força de desprendimento média dos frutos proposto neste estudo demonstrou ser uma ferramenta útil correlacionada a eficiência de colheita.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L. Eficiência de colheita. Desfolha. Força desprendimento dos frutos.

## 1 INTRODUÇÃO

O sucesso da cafeicultura é explicado por diversos fatores e entre eles destaca-se a mecanização dos cultivos. A adoção da mecanização na cafeicultura está relacionada, entre outros fatores, à escassez de mão de obra no campo, plantio de grandes áreas em relevos planos, eficiência operacional e a redução de custo de produção. Um estudo produzido por Daum (2023) mostrou que nas regiões com escassez de mão de obra, os agricultores adotam primeiro tecnologias que poupam mão de obra, sendo este um dos fatores que explica o elevado grau de mecanização nos países latino-americanos com explorações agrícolas de maior dimensão. Além disso, o autor destaca que a mecanização agrícola pode ajudar a tornar os sistemas agroalimentares mais sustentáveis do ponto de vista socioeconómico devido aos efeitos positivos relacionados com a produtividade do trabalho, a segurança alimentar, a saúde e o bem-estar, entre outros.

O cultivo do café está cada vez mais mecanizado, e das etapas do sistema de produção destaca-se a colheita dos frutos, que antes era realizada manualmente com grande dispêndio de tempo e mão de obra (Silva *et al.* 2006a). Inclui-se também a indisponibilidade e oneração da mão de obra (Santinato *et al.*, 2019a). Segundo Malta e Chagas (2010), a colheita representa metade do emprego da mão de obra na lavoura e cerca de 30% dos custos diretos da produção. Um estudo realizado por Oliveira *et al.* (2007) mostrou que a colheita mecanizada pode reduzir em média 62% dos custos em relação à colheita manual.

O parque cafeeiro vem constantemente sendo renovado e os produtores estão adotando novas cultivares visando aumento de produtividade e resistência múltipla. Além destas características, priorizadas durante o desenvolvimento de novas cultivares, os produtores têm demandado informações sobre a aptidão para a colheita mecanizada. Há pouco tempo as cultivares que eram colhidas mecanicamente, devido a composição do parque cafeeiro, eram Catuaí ou Mundo Novo, em sua maioria. Essas duas cultivares, suscetíveis a ferrugem, não possuem problemas associados com colheita mecânica, desde que o ponto de colheita esteja correto e o equipamento devidamente regulado. Entretanto, com o desenvolvimento de cultivares resistentes a ferrugem os problemas com a colheita mecanizada começaram a aparecer no campo. Dessa forma, tanto o desenvolvimento de novas cultivares como o estudo das já disponíveis quanto a eficiência de colheita são necessários.

Dentre as características que atuam diretamente na resposta das plantas à mecanização da colheita, a força de desprendimento dos frutos do café tornou-se uma variável chave para a colheita mecanizada (Silva *et al.*, 2013; Ferreira Júnior *et al.*, 2018). Esta característica é

importante para avaliar a adequação de uma cultivar para a colheita mecanizada, uma vez que a eficiência dos dispositivos de colheita está diretamente relacionada a uma menor força de desprendimento de frutos maduros (Kazama *et al.*, 2021; Godinho *et al.*, 2022; Bukovac, 1979).

Poucos estudos foram realizados para comparar diferentes cultivares de café arábica e classificá-las em relação a maior aptidão para a colheita mecanizada. Estudos como o de Silva *et al.* (2010a) e Silva *et al.* (2013) mostraram que existe alta variabilidade entre cultivares de café arábica para a força de desprendimento dos frutos e concluíram que esta variabilidade deve ser considerada na escolha da cultivar.

Assim, a planta passa a ser objeto de estudo na colheita mecanizada analisando-se, além da força de desprendimento dos frutos, a desfolha das plantas e quebra de ramos (Santinato *et al.*, 2019b), perdas de frutos (Santinato *et al.*, 2015), eficiência de derriça (Tavares *et al.*, 2019), propriedades físico-mecânicas do ramo do cafeeiro (Melo Júnior *et al.*, 2022) e dos frutos (Buitrago-Osorio *et al.*, 2022; Tinoco *et al.*, 2022). De acordo com Ferraz *et al.* (2012), cada cafeeiro pode ter formato diferente, com diferenças de altura, comprimento e largura, influenciando o desempenho da colhedora.

A mecanização do café tem levado ao surgimento de diversos modelos de colhedoras, favorecendo a redução de custos durante o processo de colheita e, consequentemente, tornando o cafeicultor mais competitivo no mercado agrícola (Ferreira Júnior *et al.*, 2020). Neste novo cenário, a compreensão da dinâmica de cada cultivar quando submetida a colheita mecanizada pode auxiliar na melhor recomendação de cultivares para atendimento dessa demanda tecnológica. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência de colheita e os danos causados a diferentes cultivares de *Coffea arabica* e realizar a caracterização destas cultivares de café arábica quanto a adaptação ao sistema de colheita mecanizada.

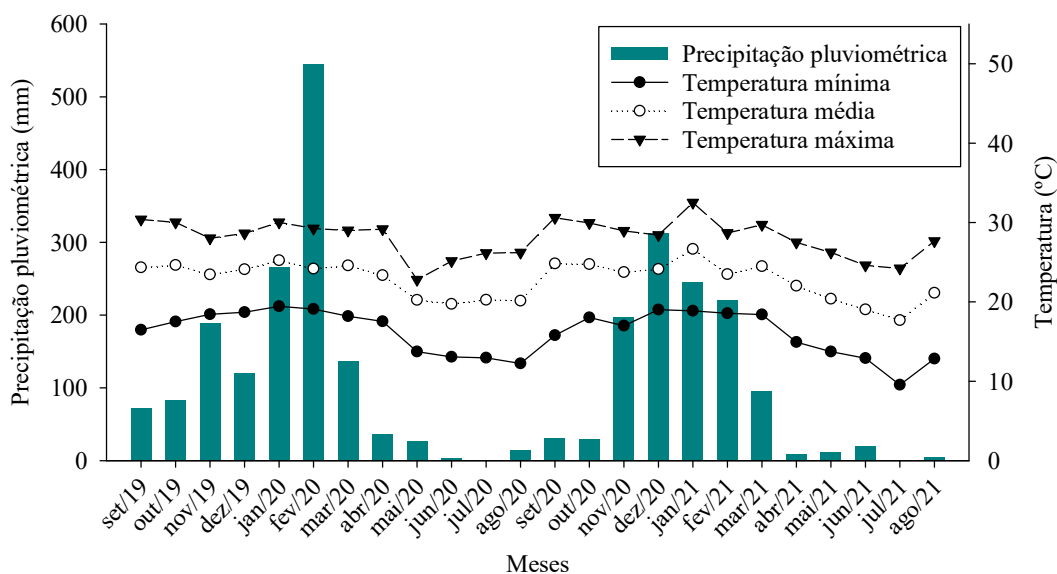
## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Localidade e delineamento experimental**

O experimento foi conduzido numa propriedade cafeeicultora localizada no município de Lavras, Estado de Minas Gerais, Brasil, latitude de 21°17'20" S e Longitude 45°06'05" W, com altitude de 895 m. De acordo com classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cwa, apresentando duas estações distintas, de abril a setembro período seco, e de outubro a março, período chuvoso. A temperatura média do mês mais quente é de 22,8 °C, a do mês mais frio é de 17,1 °C com uma média anual de 20,4 °C e tem uma precipitação média anual de 1.529 mm

(Dantas; Carvalho; Ferreira, 2007). Os dados climáticos foram coletados na estação meteorológica localizado no município de Lavras e estão dispostos na figura 1.

Figura 1 – Precipitação pluviométrica, temperatura máxima, mínima e média coletados na estação meteorológica do município de Lavras - MG para os meses de setembro de 2019 a agosto de 2021.



Fonte: Do autor (2024).

A lavoura foi implantada no ano de 2017 constituída por 11 cultivares de *Coffea arabica* L. (Tabela 1) cultivadas com uma densidade de 4.082 plantas por hectare em espaçamento de 3,5m entre linhas e 0,7m entre plantas. A lavoura foi cultivada em sistema de sequeiro e os tratos culturais foram realizados conforme as orientações técnicas para cultura e consistiram basicamente no controle de plantas daninhas com herbicidas e roçadeira, manejo fitossanitário preventivo, calagem e adubação conforme descritos por Carvalho *et al.* (2021).

Tabela 1 – Identificação das 11 cultivares de *Coffea arabica*. Lavras – MG, Brasil.

| Nome da cultivar/progênie | Instituição detentora** |
|---------------------------|-------------------------|
| MGS Ametista              | EPAMIG                  |
| MGS Catucaí Pioneira      | EPAMIG                  |
| Topázio MG 1190           | EPAMIG                  |
| H514-7-8-2*               | EPAMIG                  |
| Catiguá MG2               | EPAMIG                  |
| Catuaí Amarelo IAC 62     | IAC                     |
| H-29-1-8-5*               | EPAMIG                  |
| IAC 125 RN                | IAC                     |
| MGS Paraíso 2             | EPAMIG                  |
| Paraíso MG H 419          | EPAMIG                  |

---

Pau Brasil MG1

---

EPAMIG

---

Legenda: \*Progenies do programa de melhoramento em café da EPAMIG. \*\* Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) e Instituto Agrônomo de Campinas (IAC).

Fonte: Do autor (2024).

As avaliações foram realizadas em duas safras consecutivas, colheita da safra de 2020 e colheita da safra de 2021. O experimento foi conduzido sob delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos foram compostos pelas 11 cultivares de *C. arabica*. Cada parcela experimental foi composta de 10 plantas.

## 2.2 Desempenho da colheita entre as cultivares

Os dados de colheita mecanizada das cultivares foram obtidos utilizando uma colhedora autopropelida da marca Case IH modelo Coffee Express 200 Multi trabalhando numa velocidade de 900 m h<sup>-1</sup> e vibração de 950 ciclos min<sup>-1</sup>. Para a avaliação da colheita mecanizada foi obtido os dados de carga pendente (CP) de cada cultivar realizando-se a colheita manual sobre panos em vinte plantas das linhas de plantio onde foram demarcadas as parcelas experimentais.

Para determinar a eficiência de derriça (ED) foi calculada a massa total de frutos derriçados (MTD) em relação a carga pendente (CP). A massa total de frutos derriçados foi obtida pela somatória dos frutos recolhidos pela máquina com os frutos que foram derriçados e perdidos pelo sistema mecânico de recolhimento. Os valores de eficiência de derriça foi obtido pela seguinte fórmula:

$$ED (\%) = \frac{MTD}{CP} * 100$$

Em que:

ED – Eficiência de derriça em porcentagem;

MTD – Massa total derriçada, kg planta<sup>-1</sup>;

CP – Carga pendente, kg planta<sup>-1</sup>.

A perda de café durante a colheita foi obtida pela quantidade de frutos de café que foram derriçados pela colhedora, mas que não foram capturados pelo sistema de recolhimento da máquina, ficando sobre os panos estendidos sobre a parcela experimental. Duas abordagens foram utilizadas para determinar a perda de café, os resultados foram expressos em valores absolutos (kg ha<sup>-1</sup>) e em valores relativos (%). A perda de café em valores absolutos foi obtida mensurando a massa dos frutos que caíram nos panos estendidos sobre as parcelas

experimentais após a passada da máquina e os dados foram expressos em kg ha<sup>-1</sup> de grãos beneficiados. Já a perda de café em valores relativos refere-se a perda de café que ocorreu em relação a carga pendente da cultivar, e foi determinada pela quantidade de café não recolhido (CNR) que a máquina derriçou sobre a carga pendente (CP):

$$PC (\%) = \frac{CNR}{CP} * 100$$

Em que:

PC – Perda de café em porcentagem;

CNR – Massa de café derriçado e não recolhido pela máquina, kg planta<sup>-1</sup>;

CP – Carga pendente, kg planta<sup>-1</sup>.

O café não derriçado (CND), que representa o repasse, foi determinado colhendo-se manualmente o restante dos frutos que não foram derriçados e permaneceram nas plantas após a passada da colhedora. O café não derriçado foi calculado em valores absolutos (kg ha<sup>-1</sup> de grãos) e em valores relativos à carga pendente da planta, obtido pela massa de café remanescente (CR) não derriçado pela máquina dividido pela carga pendente (CP):

$$CND (\%) = \frac{CR}{CP} * 100$$

Em que:

CND – Café não derriçado em porcentagem;

CR – Massa de café remanescente não derriçado pela máquina, kg planta<sup>-1</sup>;

CP – Carga pendente, kg planta<sup>-1</sup>.

A eficiência de colheita (EC) foi determinada em porcentagem pela relação da massa de frutos de café que a máquina derriça da planta e consegue capturar para o sistema mecânico de recolhimento (MCR), com a carga pendente (CP).

$$EC (\%) = \frac{MCDR}{CP} * 100$$

Em que:

EC – Eficiência de colheita em porcentagem;

MCDR – Massa de café derriçado e recolhido pela máquina, kg planta<sup>-1</sup>;

CP – Carga pendente, kg planta<sup>-1</sup>.

### 2.3 Desfolha e danos

A desfolha (DE) e a quebra de ramos (QR) foram determinados pela massa (g) das folhas e ramos retirados da planta pelo efeito da colhedora ao passar sobre as linhas de plantio das

cultivares. Para tanto, panos foram estendidos sobre o chão em torno das plantas de cada parcela de forma que pôde ser coletada as folhas e os ramos (com ou sem folhas) que caíram após a passagem da máquina. Com a utilização de balança foi mensurado a massa fresca de folhas e ramos separadamente. Foi contabilizado ainda, o número de ramos plagiotrópicos primários quebrados na planta.

Os danos totais (DT), consistindo do somatório da desfolha (DE) e a quebra de ramos (QR), foram contabilizados em massa vegetal por planta (g planta<sup>-1</sup>). Além do valor obtido em massa vegetal por planta, os danos totais (DT) foram calculados com base no tecido vegetal total existente em uma planta. Para obtenção do tecido vegetal total (TVT) de uma planta foi utilizado o método destrutivo. Com o auxílio de tesouras de poda foram cortados todos os ramos plagiotrópicos a aproximadamente 5 cm de inserção no ramo ortotrópico de quatro plantas representativas de cada cultivar, e em seguida, por meio de balança digital, foi mensurado a massa (g) do tecido vegetal retirado. Os danos totais relativos à massa do TVT (DT%) foram calculados conforme a seguinte equação:

$$DT (\%) = \frac{DE + QR}{TVT} * 100$$

Em que:

DT – Danos totais em porcentagem;

DE – Desfolha, g planta<sup>-1</sup>;

QR – Quebra de ramos, g planta<sup>-1</sup>;

TVT – Tecido vegetal total, g planta<sup>-1</sup>.

## 2.4 Caracterização das cultivares

Para caracterização das cultivares foram avaliadas a altura da planta, diâmetro da copa, número de ramos plagiotrópicos primários, vigor vegetativo, maturação e força de desprendimento dos frutos. Essas características foram correlacionadas com as variáveis de desempenho da colheita mecanizada e aos danos causados, com intuito de verificar a influência no sistema de colheita mecanizada.

A altura da planta foi determinada medindo do solo até o ápice da copa utilizando uma fita métrica graduada em centímetros. O número de ramos plagiotrópicos primários foi determinado pela contagem de todos os ramos plagiotrópicos ligados ao ramo ortotrópico principal desde a base até o ápice da planta. O diâmetro da copa foi obtido considerando o

comprimento dos ramos plagiotrópicos de maior extensão no sentido transversal à linha de plantio.

O vigor vegetativo foi determinado por dois avaliadores especialistas utilizando como critério de avaliação uma atribuição de notas conforme escala arbitrária de 1 a 10 pontos, sendo nota 1 conferida às piores plantas, com o vigor vegetativo muito reduzido e acentuado sintoma de depauperamento e nota 10 às plantas com excelente vigor, mais enfolhadas e com acentuado crescimento vegetativo dos ramos produtivos, conforme metodologia adaptada de Botelho *et al.* (2010).

Para determinação da maturação dos frutos de cada cultivar no momento da colheita foi realizada a contagem dos frutos verde (imaturo), cereja (maduro) e seco contidos numa amostra de 0,3 litros de café retirada do volume total do café de cada parcela experimental. Os dados foram convertidos em porcentagem de frutos cereja, verde e seco.

A força de desprendimento dos frutos foi avaliada com um dinamômetro digital portátil anteriormente ao início da derriça dos frutos pela colhedora. Foram mensurados 30 frutos por parcela, sendo 15 frutos verdes e 15 frutos cerejas uniformemente distribuídos sob o terço inferior, médio e superior das plantas. Calculou-se também a diferença de força entre os estádios de maturação, e para isso, considerou-se a média de força de desprendimento dos frutos verdes menos a média dos frutos cereja. Os valores da força de desprendimento dos frutos cerejas e verdes foram medidos em Newtons (N). Para a avaliação de força de desprendimento de frutos verdes e cereja foi adotado um esquema de parcelas subdivididas no tempo, sendo as cultivares as parcelas e as safras as subparcelas.

Com os dados de força de desprendimento dos frutos de cada cultivar e os dados de maturação calculou-se um índice que foi denominado de força de desprendimento média (FD média). Como as cultivares não possuem valores uniformes de frutos verdes e cerejas foi calculado a FD média dos frutos, que considera a porcentagem dos frutos verde e cereja conforme a equação a seguir. A porcentagem de frutos secos não foi utilizada pela equação por serem considerados de força nula ou muito pequena em relação aos verdes e cereja, e assim não ser uma variável da equação.

$$FD \text{ média (N)} = \frac{(FD \text{ cereja} * PF \text{ cereja}) + (FD \text{ verde} * PF \text{ verde})}{100}$$

Em que:

FD média: Força de desprendimento média, newtons (N);

FD cereja: Força de desprendimento de frutos cereja, newtons (N);

PF cereja: Porcentagem de frutos cereja;

FD verde: Força de desprendimento de frutos verde, newtons (N);

PF verde: Porcentagem de frutos verde.

## **2.5 Análise de dados**

Os dados foram tabulados e submetidos à análise de variância pelo teste F ( $p < 0,01$ ). O teste de Scott Knott ( $p \leq 0,05$ ) foi empregado para o agrupamento das médias das variáveis analisadas. Para verificar a existência e o nível de correlação entre as características das cultivares e as variáveis relacionadas ao desempenho da colheita utilizou-se o método de Spearman. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o software Genes (Cruz, 2016).

Foi realizada uma análise exploratória multivariada de componentes principais para analisar a distribuição das cultivares de café arábica e identificar os que se diferenciam dos demais principalmente em relação aos parâmetros de eficiência de colheita e os danos causados pela colhedora. A análise foi realizada utilizando a média das duas safras e a média das repetições de cada variável para cada cultivar. Todas as características foram utilizadas na análise multivariada, sendo excluídas da análise variáveis altamente correlacionadas. A análise multivariada foi realizada pelo software Past 4.03.

## **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **3.1 Desempenho da colheita mecanizada entre as cultivares**

O café não derriçado pela colhedora na primeira safra, em valores absolutos, foi maior para as cultivares MGS Ametista e Paraíso MG H 419-1, com 405 e 424 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente (Tabela 2). Para a segunda safra, dois grupos foram formados entre as cultivares com base na quantidade de café não derriçado pela colhedora. O grupo com a maior quantidade de café não derriçado foi composto pelas cultivares MGS Ametista, MGS Catucaí Pioneira, Catiguá MG2 e IAC 125 RN, o que representa em média 24 sacas de café beneficiado por hectare (Tabela 2).

O café não derriçado também foi representado em porcentagem da carga pendente de cada cultivar. Sob este aspecto, a cultivar MGS Ametista seguida da cultivar Paraíso MG H 419-1 também possuem as maiores porcentagens de café remanescente após a passada da

colhedora na primeira safra, com 41 e 25% de café não derriçado, respectivamente, em relação a produtividade de cada cultivar (Tabela 2).

Tabela 2 – Resumo da análise de variância e agrupamento das médias entre cultivares de *Coffea arabica* para o café não derriçado pela colhedora em valores absolutos (kg.ha<sup>-1</sup>) e porcentagem (%) em relação a carga pendente durante a colheita mecanizada em duas safras. Lavras, MG – Brasil.

| Resumo da análise de variância |                                   |           |                                                |          |
|--------------------------------|-----------------------------------|-----------|------------------------------------------------|----------|
|                                | Café não derriçado pela colhedora |           | Proporção do café não derriçado pela colhedora |          |
|                                | 1º Safra                          | 2º Safra  | 1º Safra                                       | 2º Safra |
| Cultivares                     | 21,66**                           | 6,55**    | 17,38**                                        | 4,09**   |
| CV (%)                         | 39,71                             | 26,26     | 41,19                                          | 27,14    |
| Média geral                    | 155,48                            | 1045,69   | 11,16                                          | 34,28    |
| Cultivares                     | Café não derriçado pela colhedora |           | Café não derriçado pela colhedora              |          |
|                                | 1º Safra                          | 2º Safra  | 1º Safra                                       | 2º Safra |
|                                | (kg ha <sup>-1</sup> )            |           | %                                              |          |
| MGS Ametista                   | 405,90 a                          | 1326,72 a | 25,57 a                                        | 38,51 a  |
| MGS C. Pioneira                | 166,09 c                          | 1447,66 a | 8,17 c                                         | 48,96 a  |
| Topázio MG 1190                | 48,78 c                           | 832,72 b  | 3,63 d                                         | 26,26 b  |
| H514-7-8-2                     | 64,19 c                           | 811,51 b  | 5,35 d                                         | 21,80 b  |
| Catiguá MG2                    | 53,25 c                           | 1311,02 a | 3,98 d                                         | 37,55 a  |
| Catuai IAC 62                  | 20,78 c                           | 817,99 b  | 1,87 d                                         | 38,46 a  |
| H-29-1-8-5                     | 81,14 c                           | 725,38 b  | 11,32 c                                        | 20,37 b  |
| IAC 125 RN                     | 97,59 c                           | 1752,03 a | 10,20 c                                        | 41,86 a  |
| MGS Paraíso 2                  | 91,57 c                           | 697,95 b  | 3,99 d                                         | 28,76 b  |
| Paraíso MG H 419               | 424,04 a                          | 879,59 b  | 30,38 a                                        | 44,47 a  |
| Pau Brasil MG1                 | 256,94 b                          | 900,03 b  | 18,33 b                                        | 30,10 b  |

Legenda: \*\* Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. Médias seguidas por letras iguais minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2024).

Para a segunda safra, as cultivares se dividiram em dois grupos de médias estatisticamente diferentes. O grupo com a maior quantidade de café não derriçado pela colhedora em relação a carga pendente foi composto pelas cultivares MGS Ametista, MGS Catucaí Pioneira, Catiguá MG2, Catucaí Amarelo IAC 62, IAC 125 RN e Paraíso MG H419-1, com média de 49,39% do café com necessidade de repasse.

As cultivares Topázio MG 1190, MGS Paraíso 2 e a progênie H514-7-8-2 se destacaram na primeira e segunda safra estando entre os grupos que representam os menores valores para o café não derriçado pela colhedora, tanto em valores absolutos quanto em porcentagem de café em relação a carga pendente (Tabela 2). Santinato *et al.* (2015) observaram que o custo com repasse manual aumenta em plantas com maior quantidade de café remanescente após a passada

da colhedora. Assim, a menor quantidade de café remanescente destas cultivares representa menor gasto com mão de obra e maior lucro para o produtor (Oliveira *et al.*, 2007).

Após a derriça dos frutos pela colhedora o café é destinado ao sistema de recolhimento da máquina, onde parte deste café é perdido e cai sobre o chão. A Tabela 3 apresenta a perda de café pela máquina considerando os valores absolutos e em porcentagem da carga pendente de cada cultivar.

Em valores absolutos, as cultivares MGS Ametista e MGS Paraíso 2 obtiveram a maior perda de café na primeira safra, com 181,85 e 168,18 kg ha<sup>-1</sup> de café beneficiado respectivamente (Tabela 3). As demais cultivares foram estatisticamente iguais e registraram em média uma perda de aproximadamente 93 kg ha<sup>-1</sup>.

Na segunda safra o grupo com maior perda de café em valores absolutos foi composto pelas cultivares Topázio MG 1190, Catiguá MG2, Catuaí Amarelo IAC 62, IAC 125 RN, MGS Paraíso 2 e a progênie H-29-1-8-5, que em média perderam-se 2,42 sacas por hectare. O grupo com as menores perdas de café foi constituído pelas cultivares MGS Ametista, MGS Catucaí Pioneira, Paraíso MG H419-1, Pau Brasil MG1 e a progênie H514-7-8-2, que em média perderam 81 kg ha<sup>-1</sup>, sendo as perdas 44% menor em relação ao primeiro grupo (Tabela 3).

Tabela 3 – Resumo da análise de variância e agrupamento das médias entre cultivares de *Coffea arabica* para a perda de café pela colhedora em valores absolutos (kg ha<sup>-1</sup>) e porcentagem (%) em relação a carga pendente durante a colheita mecanizada em duas safras. Lavras, MG – Brasil.

| Resumo da análise de variância |                                      |          |                   |          |
|--------------------------------|--------------------------------------|----------|-------------------|----------|
|                                | Perda de café (kg ha <sup>-1</sup> ) |          | Perda de café (%) |          |
|                                | 1º Safra                             | 2º Safra | 1º Safra          | 2º Safra |
| Cultivares                     | 9,17**                               | 4,88**   | 10,20**           | 9,87**   |
| CV (%)                         | 22,31                                | 28,91    | 20,82             | 24,72    |

| Cultivares       | Perda de café          |          | Perda de café |          |
|------------------|------------------------|----------|---------------|----------|
|                  | 1º Safra               | 2º Safra | 1º Safra      | 2º Safra |
|                  | (kg ha <sup>-1</sup> ) |          | %             |          |
| MGS Ametista     | 181,84 a               | 67,78 b  | 11,58 a       | 1,93 d   |
| MGS C. Pioneira  | 99,14 b                | 93,21 b  | 5,01 c        | 3,16 d   |
| Topázio MG 1190  | 125,38 b               | 130,69 a | 9,52 b        | 4,11 c   |
| H514-7-8-2       | 81,24 b                | 99,54 b  | 6,86 c        | 2,67 d   |
| Catiguá MG2      | 71,50 b                | 130,75 a | 5,23 c        | 3,73 c   |
| Catuaí IAC 62    | 98,11 b                | 153,90 a | 8,79 b        | 7,34 a   |
| H-29-1-8-5       | 95,81 b                | 154,09 a | 13,32 a       | 4,36 c   |
| IAC 125 RN       | 89,40 b                | 166,43 a | 9,38 b        | 3,95 c   |
| MGS Paraíso 2    | 168,20 a               | 133,90 a | 7,26 c        | 5,53 b   |
| Paraíso MG H 419 | 100,21 b               | 56,61 b  | 6,99 c        | 2,91 d   |
| Pau Brasil MG1   | 74,80 b                | 86,87 b  | 5,29 c        | 2,94 d   |

Legenda: \*\* Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. Médias seguidas por letras iguais minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2024).

A perda de café em relação a carga pendente da planta foi maior para a cultivar MGS Ametista e a progênie H-29-1-8-5 para a colheita da primeira safra (Tabela 3). Para a colheita da segunda safra a maior perda de café pela colhedora foi observada para a cultivar Catuaí Amarelo IAC 62 com 7,34% de perda.

A perda de café durante a colheita mecanizada é causada por diversos fatores, como o alinhamento da lavoura, a eficiência da máquina, a habilidade do operador e a regulação de operação do equipamento (Silva *et al.*, 2001; Santinato *et al.*, 2015). No entanto, considerando a mesma colhedora e as mesmas condições de operação do presente estudo, a variação na perda de café fica representada pelas diferenças entre as cultivares.

Houve diferença significativa entre as cultivares para a eficiência de derriça dos frutos e eficiência de colheita mecanizada nas duas safras (Tabela 4). Para a primeira safra a eficiência de derriça da colhedora variou entre as cultivares com médias entre 58% e 98% para o menor e maior valor, respectivamente. As cultivares foram divididas em quatro grupos. O grupo com maiores valores de eficiência de derriça foi composto pelas cultivares Topázio MG 1190, Catiguá MG2, Catuaí Amarelo IAC 62, MGS Paraíso 2 e a progênie H514-7-8-2. As menores eficiências de derriça foram obtidas pelas cultivares MGS Ametista e Paraíso MG H 419-1.

Tabela 4 – Resumo da análise de variância e agrupamento das médias entre cultivares de *Coffea arabica* para a eficiência de derriça e colheita dos frutos em duas safras. Lavras, MG – Brasil.

| Resumo da análise de variância |                       |          |                        |          |
|--------------------------------|-----------------------|----------|------------------------|----------|
|                                | Eficiência de derriça |          | Eficiência de colheita |          |
|                                | 1º Safra              | 2º Safra | 1º Safra               | 2º Safra |
| Cultivares                     | 17,38**               | 4,086*   | 14,87**                | 3,77*    |
| CV (%)                         | 5,17                  | 14,15    | 6,61                   | 15,63    |
| Média geral                    | 88,84                 | 65,72    | 80,73                  | 61,85    |
| Cultivares                     | Eficiência de derriça |          | Eficiência de colheita |          |
|                                | 1º Safra              | 2º Safra | 1º Safra               | 2º Safra |
| %                              |                       |          |                        |          |
| MGS Ametista                   | 74,43 d               | 61,49 b  | 62,85 c                | 59,57 b  |
| MGS C. Pioneira                | 91,83 b               | 51,05 b  | 86,82 a                | 47,89 b  |
| Topázio MG 1190                | 96,37 a               | 73,75 a  | 86,86 a                | 69,64 a  |
| H514-7-8-2                     | 94,65 a               | 78,20 a  | 87,79 a                | 75,54 a  |
| Catiguá MG2                    | 96,03 a               | 62,45 b  | 90,80 a                | 58,72 b  |
| Catuaí IAC 62                  | 98,14 a               | 61,54 b  | 89,34 a                | 54,21 b  |
| H-29-1-8-5                     | 88,69 b               | 79,63 a  | 75,36 b                | 75,26 a  |
| IAC 125 RN                     | 89,80 b               | 58,15 b  | 80,43 a                | 54,19 b  |
| MGS Paraíso 2                  | 96,01 a               | 71,24 a  | 88,75 a                | 65,71 a  |
| Paraíso MG H 419               | 69,62 d               | 55,54 b  | 62,63 c                | 52,63 b  |

|                |         |         |         |         |
|----------------|---------|---------|---------|---------|
| Pau Brasil MG1 | 81,67 c | 69,90 a | 76,38 b | 66,97 a |
|----------------|---------|---------|---------|---------|

Legenda: \*\* e \*Significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas por letras iguais minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2024).

Para a segunda safra as cultivares se dividiram em dois grupos, com valores de eficiência de derriça variando de 51 a 79% (Tabela 4). O grupo com as maiores médias foi composto pelas cultivares Topázio MG 1190, MGS Paraíso 2 e as progênes H514-7-8-2 e H-29-1-8-5. As demais cultivares formaram o grupo com as menores médias. Cabe ressaltar que as cultivares Topázio MG 1190, MGS Paraíso 2 e a progênie H514-7-8-2 obtiveram maiores valores de eficiência de derriça em ambas as safras.

Para a eficiência de colheita na primeira safra observa-se que as cultivares MGS Ametista e Paraíso MG H 419-1 foram as que tiveram menor valor para esta variável. Isto é justificado pela menor eficiência de derriça dos frutos pela colhedora nestas cultivares, já que a derriça dos frutos é uma das variáveis que influencia a eficiência de colheita. Para a segunda safra as cultivares se dividiram em dois grupos para a eficiência de colheita. As cultivares com maior eficiência de colheita foram Topázio MG 1190, MGS Paraíso 2, Pau Brasil MG1 e as progênes H514-7-8-2 e H-29-1-8-5. Assim como para a eficiência de derriça, três destas cultivares, Topázio MG 1190, H514-7-8-2 e MGS Paraíso 2 se destacaram em ambas as safras compondo os grupos com os maiores valores de eficiência de colheita.

Diversos autores avaliaram a eficiência de derriça e colheita de frutos e observaram que a variação nesta característica pode estar relacionada ao conjunto do equipamento utilizado assim como as características das plantas. Para as colhedoras a regulagem em relação a velocidade, amplitude e frequência de vibração das varetas derriçadoras influenciam na eficiência de derriça (Silva *et al.*, 2006; Cassia *et al.*, 2013; Dias *et al.*, 2014). Para as características das plantas, a força de aderência dos frutos nos ramos plagiotrópicos e a maturação dos frutos no momento de colheita são fatores diretamente relacionados à eficiência de derriça dos frutos, assim como observados por Silva *et al.* (2013), Ferreira Júnior *et al.* (2018) e Kazama *et al.* (2021).

### 3.2 Danos e desfolha nas cultivares durante a colheita

Houve diferença significativa entre as cultivares para a desfolha e massa de ramos plagiotrópicos quebrados após a colheita da primeira e segunda safra (Tabela 5). Para o número

de ramos plagiotrópicos quebrados houve diferença significativa entre as cultivares somente para a colheita da segunda safra.

Tabela 5 – Resumo da análise de variância e agrupamento das médias entre cultivares de *Coffea arabica* para a desfolha, massa de ramos quebrados e número de plagiotrópicos primários quebrados durante a colheita mecanizada em duas safras. Lavras, MG – Brasil.

| Resumo da análise de variância |          |          |                 |          |                                    |          |
|--------------------------------|----------|----------|-----------------|----------|------------------------------------|----------|
|                                | Desfolha |          | Ramos quebrados |          | Número de plagiotrópicos quebrados |          |
|                                | 1º safra | 2º safra | 1º safra        | 2º safra | 1º safra                           | 2º safra |
| Cultivares                     | 37,66**  | 4,95**   | 9,32**          | 17,70**  | 1,04 <sup>ns</sup>                 | 4,97**   |
| CV (%)                         | 10,24    | 19,34    | 32,62           | 22,52    | 50,27                              | 26,07    |
| Média geral                    | 253,34   | 298,70   | 59,84           | 169,39   | 1,06                               | 2,17     |

| Cultivares       | Desfolha               |          | Ramos quebrados |          | Número de plagiotrópicos quebrados |          |
|------------------|------------------------|----------|-----------------|----------|------------------------------------|----------|
|                  | g planta <sup>-1</sup> |          |                 |          | — nº planta <sup>-1</sup> —        |          |
|                  | 1º safra               | 2º safra | 1º safra        | 2º safra | 1º safra                           | 2º safra |
| MGS Ametista     | 196,95 d               | 291,25 b | 78,70 b         | 103,00 d | 0,75 a                             | 2,00 b   |
| MGS C. Pioneira  | 305,88 b               | 383,25 a | 29,50 c         | 131,25 d | 0,70 a                             | 2,25 b   |
| Topázio MG 1190  | 252,63 c               | 258,00 b | 34,25 c         | 118,25 d | 1,38 a                             | 1,68 b   |
| H514-7-8-2       | 266,63 c               | 289,25 b | 38,63 c         | 130,75 d | 0,63 a                             | 2,08 b   |
| Catiguá MG2      | 304,88 b               | 383,75 a | 71,25 b         | 358,25 a | 1,10 a                             | 3,88 a   |
| Catuaí IAC 62    | 335,13 a               | 322,25 a | 60,50 b         | 141,25 d | 1,18 a                             | 1,68 b   |
| H-29-1-8-5       | 361,00 a               | 357,25 a | 59,13 b         | 137,00 d | 1,35 a                             | 1,68 b   |
| IAC 125 RN       | 302,00 b               | 302,00 b | 67,75 b         | 193,25 c | 0,95 a                             | 2,25 b   |
| MGS Paraíso 2    | 203,88 d               | 267,00 b | 132,88 a        | 268,00 b | 1,10 a                             | 2,35 b   |
| Paraíso MG H 419 | 112,38 e               | 159,50 c | 28,88 c         | 91,25 d  | 1,18 a                             | 1,70 b   |
| Pau Brasil MG1   | 145,38 e               | 272,25 b | 56,75 b         | 191,00 c | 1,38 a                             | 2,38 b   |

| Correlações            |          |          |                 |                          |                                    |          |
|------------------------|----------|----------|-----------------|--------------------------|------------------------------------|----------|
|                        | Desfolha |          | Ramos quebrados |                          | Número de plagiotrópicos quebrados |          |
|                        | 1º safra | 2º safra | 1º safra        | 2º safra                 | 1º safra                           | 2º safra |
| Eficiência de derriça  | 0,51     | -0,13    | 0,18            | 0,15                     | 0,06                               | -0,17    |
| Eficiência de colheita | 0,44     | -0,22    | 0,33            | -0,02                    | -0,10                              | -0,16    |
| Café não derriçado     | -0,51    | 0,13     | -0,18           | -0,15                    | -0,06                              | -0,33    |
| Perda de café          | 0,09     | 0,47     | 0,29            | <b>0,62</b> <sup>”</sup> | 0,25                               | -0,10    |

Legenda: <sup>ns</sup> e <sup>\*\*</sup> Não significativo e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas por letras iguais minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. \* correlações significativas pelo teste t a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2024).

As cultivares dividiram-se em cinco grupos de médias para a desfolha na primeira safra e três grupos para a segunda safra (Tabela 5). A cultivar Catuaí Amarelo IAC 62 e a progênie

H29-1-8-5 obtiveram maior nível de desfolha na primeira safra, e juntamente com as cultivares MGS Catucaí Pioneira e Catiguá MG2 compõem o grupo com maior nível de desfolha na segunda safra. O grupo com o menor nível de desfolha na primeira safra foi formado pelas cultivares Paraíso MG H 419-1 e Pau Brasil MG1. Na segunda safra, a menor média de desfolha foi obtida pela cultivar Paraíso MG H 419-1.

A desfolha é um importante indicador do dano que a colhedora causa nas plantas. Outros estudos utilizando este indicador foram realizados e os autores observaram que o nível de desfolha pode variar de acordo com a regulação da colhedora (Silva *et al.*, 2006; Cassia *et al.*, 2013) assim como as cultivares utilizadas (Avelar, 2013).

Outra importante observação é que os menores níveis de desfolha ocorreram para cultivares que possuem alta resistência a ferrugem, como Paraíso MG H 419-1 e Pau Brasil MG1. A ferrugem é a principal doença fúngica do cafeeiro e causa a queda prematura das folhas (Talhinhas *et al.*, 2017), assim o impacto e vibração das hastes da colhedora pode fazer com que as folhas caiam mais facilmente em cultivares com maior suscetibilidade a essa doença, como a cultivar Catucaí Amarelo IAC 62.

A desfolha das plantas durante a colheita mecanizada é um dos principais fatores a ser observado. Silva *et al.* (2010b) constataram que a desfolha, e consequente redução na fotossíntese, foi um fator determinante para a redução da produtividade de café na lavoura no ano subsequente, agravando assim os efeitos da bienalidade da produção.

As cultivares se dividiram em três grupos para a massa de ramos quebrados na primeira safra e em quatro grupos para a segunda safra (Tabela 5). Na colheita da primeira safra a massa de ramos quebrados foi maior para a cultivar MGS Paraíso 2, e para a segunda safra a maior média foi observada para a cultivar Catiguá MG2. As cultivares MGS Catucaí Pioneira, Topázio MG 1190, Paraíso MG H 419-1 e a progênie H514-7-8-2 se destacaram por compor o grupo com as menores médias de massa de ramos quebrados na primeira e segunda safra.

Para o número de ramos plagiotrópicos primários quebrados houve diferença significativa entre as cultivares somente para a colheita da segunda safra, onde a cultivar Catiguá MG2 obteve a maior média de ramos quebrados (Tabela 5).

Não houve correlação significativa entre a maioria das variáveis de desempenho da colheita mecanizada com os danos de desfolha, massa e número de ramos plagiotrópicos quebrados. Observou-se apenas uma correlação positiva entre a massa de ramos quebrados e a perda de café pela colhedora (Tabela 5). Esta correlação indica que a maior quebra de ramos plagiotrópicos ocasiona uma maior perda de café pelo sistema de recolhimento da colhedora.

Souza *et al.* (2023) também observaram que ramos quebrados podem reduzir o direcionamento dos frutos para os transportadores horizontais da colhedora.

Houve diferença significativa entre as cultivares para os danos totais causados na colheita da primeira e segunda safra (Tabela 6). Apesar das diferenças entre as cultivares para esta variável não foi possível observar correlação significativa com as variáveis de desempenho da colheita.

Para os danos totais em massa vegetal perdida pelas cultivares houve a formação de quatro grupos para a primeira e segunda safra. O grupo com a maior perda de massa vegetal na primeira safra foi composto pelas cultivares Catiguá MG2, Catuaí Amarelo IAC 62, IAC 125 RN e a progênie H-29-1-8-5, que em média perderam 390,41 g planta<sup>-1</sup>. Para a segunda safra a cultivar Catiguá MG2 obteve a maior média entre todos as cultivares para os danos totais, com 742 g planta<sup>-1</sup>. A menor perda de massa vegetal por danos na colheita da primeira e segunda safra foi observada para a cultivar Paraíso MG H419-1. Na primeira safra os danos totais para essa cultivar foram de 141,25 g planta<sup>-1</sup>, o que representa uma perda 63% menor comparada ao grupo com a maior média. Para a segunda safra os danos totais desta cultivar foram de 250,75 g planta<sup>-1</sup>, sendo 66% menor que a cultivar com maior dano total, a cultivar Catiguá MG2.

Tabela 6 – Resumo da análise de variância e agrupamento das médias entre cultivares de *Coffea arabica* para os danos totais em massa fresca vegetal e porcentagem da massa vegetal da planta durante a colheita mecanizada em duas safras. Lavras, MG – Brasil.

| Resumo da análise de variância |                                        |          |                   |          |
|--------------------------------|----------------------------------------|----------|-------------------|----------|
|                                | Danos totais em g planta <sup>-1</sup> |          | Danos totais em % |          |
|                                | 1º safra                               | 2º safra | 1º safra          | 2º safra |
| Cultivares                     | 19,68**                                | 8,23**   | 48,06**           | 13,90**  |
| CV (%)                         | 12,09                                  | 18,03    | 10,33             | 21,19    |
| Média geral                    | 313,17                                 | 468,09   | 7,36              | 17,83    |
| Cultivares                     | Danos totais<br>g planta <sup>-1</sup> |          | Danos totais<br>% |          |
|                                | 1º safra                               | 2º safra | 1º safra          | 2º safra |
| MGS Ametista                   | 275,65 b                               | 394,25 c | 5,89 c            | 20,09 b  |
| MGS C. Pioneira                | 335,38 b                               | 514,50 b | 6,93 c            | 14,49 c  |
| Topázio MG 1190                | 286,88 b                               | 376,25 c | 7,17 c            | 11,23 c  |
| H514-7-8-2                     | 305,25 b                               | 420,00 b | 10,57 b           | 26,97 a  |
| Catiguá MG2                    | 376,13 a                               | 742,00 a | 10,82 b           | 29,30 a  |
| Catuaí IAC 62                  | 395,63 a                               | 463,50 b | 6,32 c            | 11,45 c  |
| H-29-1-8-5                     | 420,13 a                               | 494,25 b | 12,20 a           | 13,93 c  |
| IAC 125 RN                     | 369,75 a                               | 495,25 b | 6,45 c            | 26,03 a  |
| MGS Paraíso 2                  | 336,75 b                               | 535,00 b | 5,49 d            | 17,67 b  |
| Paraíso MG H 419               | 141,25 d                               | 250,75 d | 4,10 e            | 7,96 c   |
| Pau Brasil MG1                 | 202,13 c                               | 463,25 b | 5,04 d            | 16,97 b  |
| Correlações                    |                                        |          |                   |          |

|                        | Danos totais em g planta <sup>-1</sup> |          | Danos totais em % |          |
|------------------------|----------------------------------------|----------|-------------------|----------|
|                        | 1º safra                               | 2º safra | 1º safra          | 2º safra |
| Eficiência de derriça  | 0,54                                   | -0,03    | 0,43              | 0,10     |
| Eficiência de colheita | 0,53                                   | -0,02    | 0,37              | 0,16     |
| Café não derriçado     | -0,54                                  | 0,03     | -0,43             | -0,10    |
| Perda de café          | -0,36                                  | 0,55     | -0,51             | 0,03     |

Legenda: \*\* Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. Médias seguidas por letras iguais minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. “correlações significativas pelo teste t a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2024).

Os resultados de danos totais também foram comparados em porcentagem de perda da massa vegetal existente em cada cultivar. Desta perspectiva, a maior porcentagem de danos totais na primeira safra foi obtida pela progênie H29-1-8-5, com 12% do total do tecido vegetal desta progênie deteriorado pela máquina durante a colheita mecanizada (Tabela 6). Para a colheita da segunda safra as cultivares Catiguá MG2, IAC 125 RN e a progênie H514-7-8-2 formaram o grupo com o maior dano total, com média de 27% do tecido vegetal destas cultivares deteriorado pela colhedora. O menor dano total na primeira safra foi obtido pela cultivar Paraíso MG H419-1, com 4% apenas de perda de tecido vegetal em relação a massa vegetal total da planta. Na colheita da segunda safra o grupo com as menores perdas foi composto pelas cultivares MGS Catucaí Pioneira, Topázio MG 1190, Catucaí Amarelo IAC 62, Paraíso MG H419-1 e a progênie H29-1-8-5.

### 3.3 Força de desprendimento dos frutos

Comparando as cultivares entre si dentro de cada safra verificou-se que houve diferença significativa para a força de desprendimento do fruto cereja (Tabela 7). Para a primeira safra as cultivares se dividiram em três grupos. A maior força de desprendimento dos frutos cereja foi verificado para cultivar IAC 125 RN, seguido das cultivares MGS Ametista, Catiguá MG2 e Pau Brasil MG1 (Tabela 7). As demais cultivares e progênies obtiveram menor força de desprendimento dos frutos cerejas e foram semelhantes entre si.

Tabela 7 – Resumo da análise de variância e agrupamento das médias entre cultivares de *Coffea arabica* para a força de desprendimento dos frutos cereja (FD cereja), verde (FD verde) e a diferença da força de desprendimento entre os frutos verdes e cerejas (FDV-FDC) em duas safras. Lavras, MG – Brasil.

| Resumo da análise de variância |          |         |
|--------------------------------|----------|---------|
| FD cereja                      | FD verde | FDV-FDV |

|                |                     |  |                     |  |                    |  |
|----------------|---------------------|--|---------------------|--|--------------------|--|
| Cultivares (C) | 19,41 <sup>**</sup> |  | 21,01 <sup>**</sup> |  | 6,61 <sup>**</sup> |  |
| Safra (S)      | 0,712 <sup>ns</sup> |  | 7,66 <sup>**</sup>  |  | 4,91 <sup>*</sup>  |  |
| C x S          | 4,562 <sup>**</sup> |  | 2,68 <sup>*</sup>   |  | 2,08 <sup>ns</sup> |  |
| CV (%) – C     | 12,71               |  | 8,14                |  | 18,46              |  |
| CV (%) – S     | 8,48                |  | 7,85                |  | 21,32              |  |
| Média Geral    | 5,33                |  | 8,4                 |  | 3,06               |  |

| Cultivares       | FD cereja |    |          |    | FD verde |    |          |    | FDV – FDC     |  |
|------------------|-----------|----|----------|----|----------|----|----------|----|---------------|--|
|                  | 1º Safra  |    | 2º Safra |    | 1º Safra |    | 2º Safra |    | 1º e 2º Safra |  |
| MGS Ametista     | 5,81      | Ba | 5,03     | Bb | 8,54     | Ba | 8,78     | Ba | 3,24 A        |  |
| MGS C. Pioneira  | 5,04      | Ca | 5,44     | Ba | 8,66     | Ba | 9,02     | Ba | 3,60 A        |  |
| Topázio MG 1190  | 4,16      | Ca | 4,77     | Ba | 6,24     | Db | 7,65     | Ca | 2,48 C        |  |
| H514-7-8-2       | 4,03      | Ca | 3,99     | Ba | 7,05     | Da | 6,00     | Db | 2,52 C        |  |
| Catiguá MG2      | 6,37      | Ba | 6,60     | Aa | 9,07     | Ba | 9,44     | Aa | 2,77 B        |  |
| Catuaí IAC 62    | 4,79      | Ca | 5,26     | Ba | 8,87     | Ba | 8,72     | Ba | 3,77 A        |  |
| H-29-1-8-5       | 4,26      | Ca | 4,63     | Ba | 6,96     | Da | 7,91     | Ca | 2,99 B        |  |
| IAC 125 RN       | 8,06      | Aa | 6,57     | Ab | 10,52    | Aa | 10,19    | Aa | 3,03 B        |  |
| MGS Paraíso 2    | 4,62      | Ca | 5,09     | Ba | 8,10     | Bb | 9,21     | Ba | 3,80 A        |  |
| Paraíso MG H 419 | 4,83      | Ca | 4,64     | Ba | 7,85     | Ca | 7,88     | Ca | 3,13 B        |  |
| Pau Brasil MG1   | 6,28      | Bb | 7,13     | Aa | 8,36     | Bb | 9,70     | Aa | 2,33 C        |  |

|                                | Correlações |                          |          |                           |          |          |
|--------------------------------|-------------|--------------------------|----------|---------------------------|----------|----------|
|                                | FD cereja   |                          | FD verde |                           | FDV–FDV  |          |
|                                | 1º Safra    | 2º Safra                 | 1º Safra | 2º Safra                  | 1º Safra | 2º Safra |
| Eficiência de derriça          | -0,31       | -0,43                    | 0,10     | -0,37                     | 0,17     | -0,40    |
| Eficiência de colheita         | -0,13       | -0,45                    | 0,28     | -0,40                     | 0,25     | -0,44    |
| Café não derriçado             | 0,31        | 0,43                     | -0,10    | 0,37                      | -0,17    | 0,40     |
| Perda de café                  | -0,27       | 0,13                     | -0,33    | 0,13                      | -0,24    | 0,30     |
| Desfolha                       | -0,12       | 0,35                     | 0,23     | 0,35                      | 0,27     | 0,08     |
| Quebra de ramos                | 0,31        | <b>0,66</b> <sup>”</sup> | 0,43     | <b>0,74</b> <sup>””</sup> | 0,02     | 0,09     |
| Nº de plagiotrópicos quebrados | -0,05       | <b>0,65</b> <sup>”</sup> | -0,30    | <b>0,73</b> <sup>”</sup>  | -0,50    | -0,05    |
| Danos totais                   | -0,04       | 0,54                     | 0,30     | <b>0,65</b> <sup>”</sup>  | 0,23     | 0,29     |

Legenda: <sup>ns</sup>, <sup>\*\*</sup> e <sup>\*</sup>, não significativo, significativo a 1 e 5% de probabilidade respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas por letras iguais, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste F e Scott-Knott respectivamente, a 5% de probabilidade. <sup>”</sup> e <sup>””</sup> correlações significativas pelo teste t a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

Fonte: Do autor (2024).

Para a segunda safra as cultivares formaram dois grupos distintos para a força de desprendimento dos frutos cerejas, o primeiro foi composto por três cultivares e o segundo por oito. As cultivares que obtiveram maior força de desprendimento para os frutos cereja na primeira safra foram as que obtiveram maiores médias para a segunda safra, exceto a cultivar MGS Ametista (Tabela 7). Considerando a força de desprendimento dos frutos cereja uma das principais variáveis correlacionadas a melhor eficiência de derriça da colhedora (Silva *et al.*, 2010a; Ferraz *et al.*, 2012) este resultado indica que a força de desprendimento pode ser

utilizada como um parâmetro de avaliação para a seleção de cultivares com maior aptidão para compor as lavouras com sistema de colheita mecanizada.

Para a força de desprendimento dos frutos verdes as cultivares Topázio MG 1190, MGS Paraíso 2 e Pau Brasil MG1 obtiveram valores superiores para a segunda safra, e a progênie H514-7-8-2 para a primeira safra. As demais cultivares obtiveram médias estatisticamente iguais para as duas safras avaliadas. Comparando as cultivares entre si em cada safra observa-se a formação de quatro grupos dissimilares, tanto para a primeira quanto para a segunda safra (Tabela 7). Na avaliação da primeira safra a cultivar IAC 125 RN obteve a maior média entre as cultivares, e as menores forças foram encontradas para a cultivar Topázio MG 1190 e as progênes H514-7-8-2 e H-29-1-8-5. Na segunda safra, a cultivar IAC 125 RN também compôs o grupo das maiores médias, juntamente com as cultivares Catiguá MG2 e Pau Brasil MG 1. Nessa avaliação, a progênie H514-7-8-2, seguido das cultivares Topázio MG 1190, Paraíso MG H419-1 e a progênie H-29-1-8-5 obtiveram as menores médias para o desprendimento de frutos verdes (Tabela 7).

Os resultados para a força de desprendimento de frutos cereja e verde mostram que existe variabilidade entre as cultivares de café arábica, como também verificado por Silva *et al.* (2010a, 2013). A força de desprendimento de frutos cereja é uma característica importante para avaliar a adequação de uma cultivar para colheita mecânica, uma vez que a eficiência dos dispositivos de colheita está diretamente relacionada a uma menor força de desprendimento de frutos cerejas (Bukovac, 1979).

Diversos trabalhos mostram a importância de menores forças de desprendimento dos frutos cereja para aumento da eficiência de derriça. Apesar disto, as maiores forças de adesão do fruto nos ramos também podem consistir em uma vantagem agrônômica. Segundo Tranbarger e Tadeo (2020) a maior capacidade das culturas domesticadas de reter frutos tem vantagens agrônômicas como a maximização da janela de colheita e a menor perda de frutos por queda natural, característica importante na cafeicultura de montanha.

Merece destaque que independente da cultivar, a força necessária para desprendimento dos frutos verdes é superior a força de desprendimento para os frutos cereja (Tabela 7), assim como observado por outros autores (Crisosto; Nagao, 1991; Silva *et al.*, 2010a; Figueiredo *et al.*, 2017; Barros *et al.* 2018; Ferreira Júnior *et al.*, 2018). Contudo, cada cultivar apresenta uma amplitude de diferença entre os estádios de maturação dos frutos. Na média das duas safras avaliadas as cultivares se dividiram em três grupos. O grupo com as médias superiores foi composto pelas cultivares MGS Ametista, MGS Catucaí Pioneira, Catucaí Amarelo IAC 62 e MGS Paraíso 2.

Para a cultura do café, o conhecimento da diferença de força entre frutos cereja e verde é importante no ajuste do equipamento de colheita mecânica quando o objetivo é a derriça seletiva de frutos cereja. Segundo Crisosto e Nagao (1991) as menores diferenças entre a força de desprendimento dos frutos maduros e verdes podem resultar em diminuição da seletividade durante a colheita mecanizada, e as maiores diferenças indicam um potencial de aumento da seletividade na derriça de frutos cereja pela colhedora. Desta forma, as cultivares MGS Ametista, MGS Catucaí Pioneira, Catucaí Amarelo IAC 62 e MGS Paraíso 2, que possuem maior amplitude da força necessária para o desprendimento de frutos cerejas e verdes podem ser mais propensas ao sistema de colheita seletiva mecanizada.

A força necessária para remoção dos frutos das plantas está relacionada a zona de abscisão dos frutos, local onde ocorre a quebra da adesão célula a célula resultando no desprendimento dos frutos (Fooyontphanich *et al.*, 2021). Um dos principais interesses na abscisão de frutos de café é maximizar a eficiência da colheita mecanizada e evitar a colheita de frutos verdes imaturos misturados com frutos maduros quando a colheita é realizada de forma seletiva (Brandão *et al.*, 2016).

Houve diferença significativa entre as cultivares e as safras avaliadas para a FD média dos frutos, assim como a interação entre estes fatores (Tabela 8). Apesar da interação, houve uma tendência de maiores FD média dos frutos para as cultivares na segunda safra em relação a primeira. Isto se deve ao fato de maiores forças de desprendimento dos frutos na segunda safra assim como a maior porcentagem de frutos verdes no momento da colheita da segunda safra, já que pela natureza do cálculo quanto maior a porcentagem de frutos verdes maior será a FD média dos frutos.

Tabela 8 – Resumo da análise de variância e agrupamento das médias entre cultivares de *Coffea arabica* para a força de desprendimento média (FD média) em duas safras. Lavras, MG – Brasil.

| Resumo da análise de variância para FD média |          |          |
|----------------------------------------------|----------|----------|
| Cultivares (C)                               | 22,01**  |          |
| Safra (S)                                    | 41,70**  |          |
| C x S                                        | 4,51**   |          |
| CV (%) – C                                   | 11,64    |          |
| CV (%) – S                                   | 12,39    |          |
| Média Geral                                  | 4,72     |          |
| Cultivares                                   | FD média |          |
|                                              | 1º Safra | 2º Safra |
| MGS Ametista                                 | 4,79 Bb  | 5,73 Aa  |
| MGS C. Pioneira                              | 3,44 Db  | 5,94 Aa  |
| Topázio MG 1190                              | 3,17 Db  | 4,73 Ba  |
| H514-7-8-2                                   | 3,00 Da  | 2,80 Ca  |

|                  |         |         |
|------------------|---------|---------|
| Catiguá MG2      | 5,45 Aa | 5,58 Aa |
| Catuaí IAC 62    | 3,54 Db | 5,49 Aa |
| H-29-1-8-5       | 3,81 Cb | 4,86 Ba |
| IAC 125 RN       | 5,94 Aa | 5,94 Aa |
| MGS Paraíso 2    | 4,19 Ca | 4,38 Ba |
| Paraíso MG H 419 | 4,32 Ca | 4,87 Ba |
| Pau Brasil MG1   | 5,89 Aa | 6,09 Aa |

|                                | Correlações |               |
|--------------------------------|-------------|---------------|
|                                | FD média    |               |
|                                | 1º Safra    | 2º Safra      |
| Eficiência de derriça          | -0,45       | <b>-0,63"</b> |
| Eficiência de colheita         | -0,27       | -0,55         |
| Café não derriçado             | 0,45        | <b>0,63"</b>  |
| Perda de café                  | -0,01       | -0,22         |
| Desfolha                       | -0,31       | 0,35          |
| Quebra de ramos                | 0,45        | 0,22          |
| Nº de plagiotrópicos quebrados | 0,17        | 0,40          |
| Danos totais                   | -0,07       | 0,18          |

Legenda: <sup>ns</sup>, <sup>\*\*</sup> e <sup>\*</sup>, não significativo, significativo a 1 e 5% de probabilidade respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas por letras iguais, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste F e Scott-Knott respectivamente, a 5% de probabilidade. "correlações significativas pelo teste t a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2024).

Comparando as cultivares em cada safra para a FD média dos frutos observa-se que houve a formação de quatro grupos na primeira safra e dois grupos para a segunda (Tabela 8). Na primeira safra as cultivares que formaram o grupo com os valores superiores foram as cultivares Catiguá MG2, IAC 125 RN e Pau Brasil MG1. O grupo com as menores médias para esta safra foi formado pelas cultivares MGS Catucaí Pioneira, Topázio MG 1190, Catuaí Amarelo IAC 62 e a progênie H514-7-8-2 que na média obtiveram uma FD média 42% menor que a observada para o primeiro grupo.

A FD média dos frutos na colheita da segunda safra foi maior para as cultivares MGS Ametista, MGS Catucaí Pioneira, Catiguá MG2, Catuaí Amarelo IAC 62, IAC 125 RN e Pau Brasil MG1 (Tabela 8). Para esta safra a menor FD média dos frutos foi obtida pela progênie H514-7-8-2 com um valor 51% menor que a FD média do grupo com os maiores valores.

Os resultados para a FD média dos frutos entre as cultivares divergem dos resultados para a força de desprendimento dos frutos verdes e cerejas. Ou seja, cultivares com maiores forças de desprendimento para os frutos cerejas e verdes não são as mesmas cultivares com maior FD média dos frutos. Isto ocorre devido a maturação, pois as cultivares com maior porcentagem de frutos cerejas em relação aos verdes tendem a menores FD médias dos frutos.

Foi observado que não houve correlação da eficiência de derriça com a força de desprendimento dos frutos verdes e cerejas em nenhuma das safras (Tabela 7). No entanto, houve correlação significativa entre a eficiência de derriça e a FD média dos frutos (Tabela 8). Assim, a força de desprendimento dos frutos como um fator isolado pode não explicar a eficiência da colhedora na derriça dos frutos entre diferentes cultivares, já que possuem diferenças na porcentagem de maturação dos frutos. Quando analisada a FD com o índice que unifica a força de desprendimento dos frutos e a maturação é possível verificar a existência de correlação. Assim, a proposta de utilizar o índice FD média dos frutos para a comparação das cultivares pode ser uma ferramenta útil.

A correlação observada para a FD média dos frutos e a eficiência de derriça mostra que quanto maior o valor deste índice menor é a eficiência de derriça e maior a necessidade de repasse (Tabela 8). Esta correlação demonstra a importância da força de desprendimento e a uniformidade de maturação dos frutos para maior eficiência de derriça nas cultivares de café, como já relatados por Silva *et al.* (2013), Ferreira Júnior *et al.* (2018) e Godinho *et al.* (2022). As cultivares Topázio MG 1190, MGS Paraíso 2 e a progênie H514-7-8-2 se destacaram para a eficiência de derriça nas duas safras avaliadas. Estas cultivares estão entre os grupos com menores valores para a FD média dos frutos, sendo este um dos fatores que contribuiu para o desempenho na derriça dos frutos.

### **3.4 Caracterização das cultivares e correlações com desempenho na colheita**

Para a altura das plantas na primeira safra as cultivares foram divididos em três grupos com médias que variaram de 124 a 156 cm (Tabela 9). O grupo com as maiores médias de altura de planta foi composto pelas cultivares MGS Ametista, Topázio 1190, Catiguá MG2, Catuaí Amarelo IAC 62, MGS Paraíso 2 e Pau Brasil MG1. A cultivar Paraíso MG H 419-1 obteve a menor altura de planta, isolando-se dos demais cultivares.

Para a segunda safra a altura das plantas variou entre 156 a 184 cm e assim como para a primeira safra as cultivares se dividiram em três grupos. A cultivar Paraíso MG H 419-1 e a progênie H514-7-8-2 foram as de menor porte, e as cultivares MGS Ametista, MGS Catucaí Pioneira, Catuaí Amarelo IAC 62 e Pau Brasil MG1 foram juntamente agrupadas e formaram o grupo de cultivares com maior altura de planta (Tabela 9).

Tabela 9 – Resumo da análise de variância e agrupamento das médias entre cultivares de *Coffea arabica* para a altura da planta, comprimento e número de ramos plagiotrópicos primários (NRP) em duas safras. Lavras, MG – Brasil.

| Resumo da análise de variância |                  |          |                  |          |                         |          |
|--------------------------------|------------------|----------|------------------|----------|-------------------------|----------|
|                                | Altura da planta |          | Diâmetro da copa |          | NRP                     |          |
|                                | 1º safra         | 2º safra | 1º safra         | 2º safra | 1º safra                | 2º safra |
| Cultivares                     | 9,76**           | 9,80**   | 4,90**           | 6,92**   | 4,90**                  | 8,62**   |
| CV (%)                         | 4,04             | 3,42     | 4,47             | 5,23     | 5,77                    | 4,73     |
| Média geral                    | 149              | 173      | 172              | 67,63    | 135                     | 79,90    |
| Cultivares                     | Altura da planta |          | Diâmetro da copa |          | NRP                     |          |
|                                | cm               |          |                  |          | Nº planta <sup>-1</sup> |          |
|                                | 1º safra         | 2º safra | 1º safra         | 2º safra | 1º safra                | 2º safra |
| MGS Ametista                   | 154 a            | 182 a    | 169 b            | 138 b    | 65,13 c                 | 71,19 b  |
| MGS C. Pioneira                | 146 b            | 180 a    | 165 b            | 147 a    | 66,44 b                 | 86,44 a  |
| Topázio MG 1190                | 153 a            | 174 b    | 177 a            | 127 c    | 73,81 a                 | 73,19 b  |
| H514-7-8-2                     | 143 b            | 156 c    | 175 a            | 136 b    | 63,75 c                 | 85,31 a  |
| Catiguá MG2                    | 153 a            | 175 b    | 182 a            | 128 c    | 67,00 b                 | 76,38 b  |
| Catuaí IAC 62                  | 156 a            | 184 a    | 175 a            | 128 c    | 67,69 b                 | 84,19 a  |
| H-29-1-8-5                     | 148 b            | 172 b    | 165 b            | 146 a    | 67,81 b                 | 76,31 b  |
| IAC 125 RN                     | 148 b            | 176 b    | 184 a            | 136 b    | 62,44 c                 | 83,88 a  |
| MGS Paraíso 2                  | 154 a            | 169 b    | 171 a            | 133 c    | 70,88 a                 | 84,75 a  |
| Paraíso MG H419                | 124 c            | 158 c    | 154 c            | 119 c    | 59,81 c                 | 82,44 a  |
| Pau Brasil MG1                 | 156 a            | 182 a    | 177 a            | 148 a    | 60,69 c                 | 74,81 b  |
| Correlações                    |                  |          |                  |          |                         |          |
|                                | Altura da planta |          | Diâmetro da copa |          | NRP                     |          |
|                                | 1º               | 2º       | 1º               | 2º       | 1º                      | 2º       |
|                                | safra            | safra    | safra            | safra    | safra                   | safra    |
| Eficiência de derriça          | 0,36             | -0,42    | 0,46             | 0,02     | <b>0,70</b> *           | -0,21    |
| Eficiência de colheita         | 0,33             | -0,36    | 0,50             | 0,13     | 0,52                    | -0,31    |
| Café não derriçado             | -0,36            | 0,42     | -0,46            | -0,02    | <b>-0,70</b> *          | 0,21     |
| Perda de café                  | 0,21             | 0,09     | -0,03            | -0,24    | 0,35                    | 0,17     |
| Desfolha                       | 0,00             | 0,41     | 0,07             | 0,40     | 0,48                    | 0,21     |
| Quebra de ramos                | 0,56             | 0,15     | 0,34             | 0,19     | 0,30                    | 0,23     |
| Nº de plagiotrópicos quebrados | 0,48             | 0,03     | 0,15             | 0,43     | 0,21                    | 0,24     |
| Danos totais                   | 0,17             | 0,12     | 0,20             | 0,30     | 0,55                    | 0,44     |

Legenda: ns, \*\* e \*, não significativo, significativo a 1 e 5% de probabilidade respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knot a 5% de probabilidade. \* correlações significativas pelo teste t a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2024).

A altura das plantas é uma característica que tem sido observada em estudos de colheita mecanizada de café (Dias *et al.*, 2014). Apesar não haver correlação da altura das plantas com os parâmetros de eficiência de colheita no presente estudo (Tabela 9), é importante o agrupamento das cultivares de acordo com esta variável.

Para o diâmetro da copa três grupos distintos foram formados entre as cultivares, tanto para a primeira quanto para a segunda safra (Tabela 9). O grupo com as maiores médias para a

primeira safra foi composto pelas cultivares Topázio, Catiguá MG2, Catuaí Amarelo IAC 62, IAC 125 RN, MGS Paraíso 2, Pau Brasil MG1 e a progênie H514-7-8-2 (Tabela 9). Para a segunda safra, os maiores comprimentos do ramo plagiotrópico médio foi observado para as cultivares MGS Catuaí Pioneira, H-29-1-8-5 e Pau Brasil MG1.

O número de ramos plagiotrópicos por planta foi diferente entre as cultivares na primeira e segunda safra (Tabela 9). As cultivares Topázio MG 1190 e MGS Paraíso 2 se destacaram na primeira safra com o maior número de ramos plagiotrópicos. Para a segunda safra, as plantas com o maior número de ramos plagiotrópicos foram as pertencentes as cultivares MGS Catuaí Pioneira, H514-7-8-2, Catuaí Amarelo IAC 62, IAC 125 RN, MGS Paraíso 2 e Paraíso MG H 419-1 (Tabela 9).

Não houve correlação significativa para o comprimento de ramos plagiotrópicos com as variáveis de eficiência de colheita e danos causados as plantas pela colhedora (Tabela 9). Para o número de ramos plagiotrópicos houve correlação positiva com a eficiência de derriça dos frutos e negativa com o café não derriçado na colheita da primeira safra. Isto indica que o maior número de ramos plagiotrópicos na primeira safra para as cultivares MGS Paraíso 2 e Topázio MG 1190 foi um dos fatores que contribuíram para os resultados superiores de eficiência de derriça e menores valores de café remanescente na planta (CND). A maior quantidade de ramos plagiotrópicos destas cultivares promove maior contato e transmissão de vibração das hastes da colhedora, e assim houve aumento na eficiência de derriça dos frutos e por consequência menor necessidade de repasse, conforme observado também por Souza *et al.* (2023).

As cultivares se diferenciaram para a nota de vigor na primeira e segunda safra (Tabela 10). Na primeira safra se dividiram em três grupos, e na segunda safra houve a formação de dois grupos de médias. A cultivar MGS Ametista se destacou entre as cultivares pois obteve na primeira safra a melhor nota de vigor, e na segunda safra esteve, juntamente com outras cultivares, no grupo com médias superiores (Tabela 10).

Tabela 10 – Resumo da análise de variância e agrupamento das médias entre cultivares de *Coffea arabica* para o vigor vegetativo e a produtividade em sacas beneficiadas por hectares para duas safras. Lavras, MG – Brasil. Lavras, MG – Brasil.

| Resumo da análise de variância |          |          |               |          |
|--------------------------------|----------|----------|---------------|----------|
|                                | Vigor    |          | Produtividade |          |
|                                | 1º safra | 2º safra | 1º safra      | 2º safra |
| Cultivares                     | 8,86**   | 8,47**   | 4,58**        | 3,55*    |
| CV (%)                         | 6,32     | 5,80     | 28,50         | 21,27    |
| Média geral                    | 7,90     | 7,67     | 19,66         | 53,96    |
| Cultivares                     | Vigor    |          | Produtividade |          |
|                                | 1º safra | 2º safra | 1º safra      | 2º safra |

|                  |        |        |         |         |
|------------------|--------|--------|---------|---------|
| MGS Ametista     | 9,69 a | 8,31 a | 26,94 a | 74,22 a |
| MGS C. Pioneira  | 7,81 b | 8,25 a | 26,35 a | 57,65 a |
| Topázio MG 1190  | 8,05 b | 7,94 a | 18,07 b | 53,98 a |
| H514-7-8-2       | 7,63 b | 6,38 b | 17,24 b | 61,07 a |
| Catiguá MG2      | 7,70 b | 7,19 b | 18,86 b | 52,00 b |
| Catuaí IAC 62    | 7,96 b | 7,69 a | 14,70 b | 56,48 a |
| H-29-1-8-5       | 8,14 b | 8,25 a | 10,38 b | 42,38 b |
| IAC 125 RN       | 7,28 c | 6,69 b | 12,32 b | 67,11 a |
| MGS Paraíso 2    | 8,26 b | 7,81 a | 28,71 a | 40,43 b |
| Paraíso MG H 419 | 6,65 c | 7,94 a | 21,15 a | 43,69 b |
| Pau Brasil MG1   | 7,70 b | 7,94 a | 21,57 a | 44,59 b |

|                                | Correlações |          |               |          |
|--------------------------------|-------------|----------|---------------|----------|
|                                | Vigor       |          | Produtividade |          |
|                                | 1º safra    | 2º safra | 1º safra      | 2º safra |
| Eficiência de derriça          | 0,16        | -0,07    | -0,22         | -0,37    |
| Eficiência de colheita         | 0,04        | 0,01     | -0,07         | -0,19    |
| Café não derriçado             | -0,16       | 0,07     | 0,22          | 0,37     |
| Perda de café                  | 0,51        | -0,15    | -0,37         | -0,45    |
| Desfolha                       | 0,14        | 0,01     | <b>-0,60</b>  | 0,25     |
| Quebra de ramos                | 0,48        | -0,41    | 0,16          | -0,26    |
| Nº de plagiotrópicos quebrados | 0,12        | -0,20    | -0,23         | -0,10    |
| Danos totais                   | 0,20        | -0,23    | -0,55         | -0,17    |

Legenda: <sup>ns</sup>, <sup>\*\*</sup> e <sup>\*</sup>, não significativo, significativo a 1 e 5% de probabilidade respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knot a 5% de probabilidade. “correlações significativas pelo teste t a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2024).

A produtividade das cultivares MGS Ametista, MGS Catuaí Pioneira, MGS Paraíso 2, Paraíso MG H 419-1 e Pau Brasil MG1 foram superiores as demais cultivares avaliados na primeira safra. Para a segunda safra, as cultivares MGS Ametista e MGS Catuaí Pioneira estiveram no grupo com as maiores produtividades (Tabela 10).

Não houve correlação significativa para o vigor das plantas e as variáveis de eficiência de colheita mecanizada e danos causados as cultivares por desfolha e quebra de ramos (Tabela 10). A produtividade correlacionou-se negativamente com a desfolha da colheita mecanizada na primeira safra. Este resultado na primeira safra deve-se principalmente as cultivares MGS Ametista, MGS Paraíso 2, Paraíso MG 419 e Pau Brasil que obtiveram menores valores de desfolha e maiores médias de produtividade entre as cultivares.

A porcentagem de frutos verdes nas plantas da primeira safra correlacionou-se negativamente com a eficiência de derriça e positivamente com o repasse (Tabela 11). Assim, a colheita das plantas com alta porcentagem de frutos verdes diminui a eficiência de derriça dos frutos e mantém alta a quantidade de café na planta com a necessidade de repasse. Silva *et al.*

(2006) em seu estudo também observaram que quanto menor o índice de frutos verdes maior é a eficiência de derriça.

Tabela 11 – Correlação entre a maturação dos frutos e as variáveis de desempenho da colheita mecanizada em cultivares de *Coffea arabica* em duas safras. Lavras, MG – Brasil.

|                                | Cereja   |          | Verde         |          | Seco     |          |
|--------------------------------|----------|----------|---------------|----------|----------|----------|
|                                | 1º safra | 2º safra | 1º safra      | 2º safra | 1º safra | 2º safra |
| Eficiência de derriça          | -0,37    | -0,25    | <b>-0,60"</b> | -0,45    | 0,36     | 0,25     |
| Eficiência de colheita         | -0,17    | -0,27    | -0,54         | -0,44    | 0,17     | 0,21     |
| Café não derriçado             | 0,37     | 0,25     | <b>0,60"</b>  | 0,45     | -0,36    | -0,25    |
| Perda de café                  | -0,01    | -0,02    | -0,05         | 0,19     | 0,05     | 0,11     |
| Desfolha                       | -0,57    | -0,05    | -0,10         | 0,34     | 0,52     | 0,11     |
| Quebra de ramos                | 0,48     | -0,44    | -0,10         | -0,08    | -0,36    | 0,46     |
| Nº de plagiotrópicos quebrados | 0,34     | -0,34    | 0,36          | -0,28    | -0,43    | 0,35     |
| Danos totais                   | -0,26    | -0,34    | -0,08         | 0,12     | 0,21     | 0,38     |

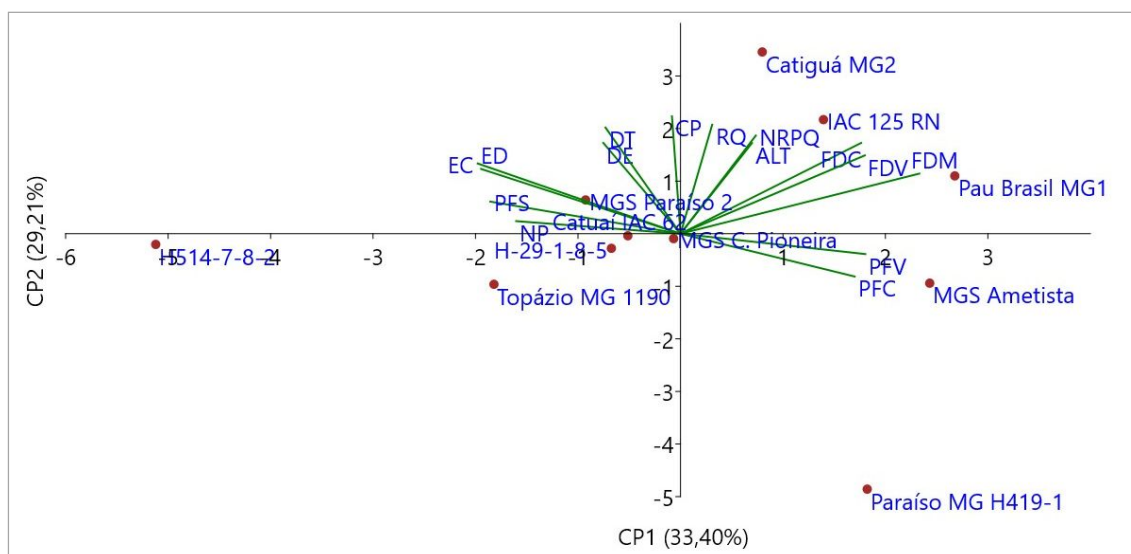
Legenda: "correlações significativas pelo teste t a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2024).

A maturação dos frutos é um parâmetro determinante para iniciar a colheita mecanizada. De acordo com Dias *et al.* (2014) a determinação do ciclo de maturação é uma importante ferramenta da colheita, já que é recomendado que se faça a colheita com a maior porcentagem de frutos cereja possível visando um produto final de melhor qualidade e maior valor agregado. Além disso, vários trabalhos mostram que os frutos cerejas se desprendem da planta mais facilmente comparados aos frutos verdes (Silva *et al.*, 2013; Ferreira Júnior *et al.*, 2018; Barros *et al.*, 2018), como verificado para os resultados do presente estudo. Desta forma, cultivares com maior uniformidade de maturação possuem maior aptidão para a colheita mecanizada.

Os dois primeiros componentes principais foram eficientes em explicar 62,61% da variabilidade dos dados (Figura 2). As características relevantes para o CP1 foram a força de desprendimento dos frutos cerejas, verdes e força média de desprendimento dos frutos e a porcentagem de frutos cereja e verdes. Estas variáveis foram inversamente correlacionadas com a eficiência de derriça, eficiência de colheita e porcentagem de frutos secos.

Figura 2 – Componentes principais para a avaliação da dispersão das características morfológicas, parâmetros de eficiência de colheita mecanizada e danos causados às plantas na média de duas safras em cultivares de *Coffea arabica*. Lavras, MG – Brasil.



Legenda: DE: Desfolha das plantas; RQ: Massa de ramos quebrados; DT: Danos totais; NP: Número de plagiotrópicos por planta; ED: Eficiência de derriça dos frutos; EC: Eficiência de colheita dos frutos; NRPQ: Número de ramos plagiotrópicos primários quebrados; FDC: Força de desprendimento de frutos cerejas; FDV: Força de desprendimento de frutos verdes; FDM: Força de desprendimento média; ALT: Altura da planta; CP: Comprimento do plagiotrópico; PFC: Porcentagem de frutos cerejas; PFV: Porcentagem de frutos verdes; PFS: Porcentagem de frutos secos.

Fonte: Do autor (2024).

As características relevantes para o PC2 foram o diâmetro da copa, massa de ramos quebrados, número de ramos plagiotrópicos primários quebrados, desfolha das plantas, danos totais, força de desprendimento dos frutos cereja e altura das plantas (Figura 2).

Por meio da análise de componentes principais foi possível identificar as cultivares correlacionadas aos parâmetros de eficiência de colheita e danos causados às plantas. No CP1 as cultivares Pau Brasil MG1, MGS Ametista e Paraíso MG H419-1 foram correlacionadas as maiores forças de desprendimento dos frutos cerejas, verdes e força de desprendimento média, assim como a maior porcentagem de frutos verdes e cereja. Estas cultivares estão inversamente correlacionadas à eficiência de derriça, eficiência de colheita e porcentagem de frutos secos. Os resultados em conjunto mostram que as características destas cultivares em relação a força de desprendimento dos frutos e maturação as posicionaram com menores eficiência de derriça e colheita dos frutos. Em contraste, as cultivares relacionados a maior eficiência de derriça e colheita foram a progênie H514-7-8-2 e as cultivares Topázio MG 1190 e MGS Paraíso 2.

No CP2, as cultivares Catiguá MG2, IAC 125 RN e Pau Brasil foram correlacionadas com as variáveis de danos causados pela colheita mecanizada, como massa de ramos quebrados, número de plagiotrópicos primários quebrados, desfolha e danos totais. As cultivares Paraíso MG H419-1, Topázio MG 1190 e MGS Ametista foram inversamente correlacionadas a estas

características, o que indica que na colheita mecanizada possuem menores danos com a passada da colhedora.

Com os resultados da análise de componentes principais é possível destacar algumas cultivares considerando o desempenho de eficiência de colheita e danos causados a planta. A progênie H514-7-8-2 e as cultivares Topázio MG 1190 e MGS Paraíso 2 possuem características que as proporcionam os melhores desempenhos na eficiência de derriça e colheita dos frutos. Ao mesmo tempo, principalmente a cultivar Topázio MG 1190 foi correlacionada aos menores danos causados pela colhedora na média das duas safras. Um segundo grupo que pode ser destacado é composto pelas cultivares MGS Ametista e Paraíso MG H419-1 que estão relacionadas aos menores danos com desfolha, massa de ramos quebrados e danos totais, mas em contraponto possuem baixo desempenho na eficiência de derriça e colheita dos frutos.

#### 4 CONCLUSÃO

Existe variabilidade entre as cultivares de *Coffea arabica* para os parâmetros relacionados a colheita mecanizada, o que possibilita a seleção e/ou agrupamento de cultivares com maior aptidão a este sistema de colheita.

A progênie H514-7-8-2 e as cultivares Topázio MG 1190 e MGS Paraíso 2 possuem características que contribuem para obter bom desempenho na eficiência de derriça e colheita dos frutos.

As cultivares MGS Ametista e Paraíso MG H419-1 estão relacionadas aos menores danos por desfolha, massa de ramos quebrados e danos totais, no entanto, possuem baixo desempenho na eficiência de derriça dos frutos.

A proposta de utilizar o índice FD média dos frutos para a comparação das cultivares demonstrou ser uma ferramenta útil, pois este índice se correlaciona com a eficiência de colheita.

## REFERÊNCIAS

- ANDROCIOLO FILHO, Armando *et al.* Avaliação da colheita mecanizada do café no paraná e propostas para melhoria de métodos e processos. *In: SIMPOSIO DE PESQUISA DOS CAFES DO BRASIL*, 6., 2009, Vitoria. **Anais [...]** Brasília: Embrapa Café, 2009
- BARROS, Murilo Machado de *et al.* Use of classifier to determine coffee harvest time by detachment force. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.22, n.5, p.366-370, 2018.
- BOTELHO, César Elias *et al.* Seleção de progênies F4 de cafeeiros obtidas do cruzamento de Icatu com Catimor. **Revista Ceres**, v. 57, n. 3, p. 274- 281, 2010.
- BRANDÃO, Isabel Rodrigues *et al.* Physiological and ultrastructural analysis reveal the absence of a defined abscission zone in coffee fruits. **Bragantia**, v.75, n.4, p.386-395, 2016.
- BUITRAGO-OSORIO, Jaime *et al.* Physical-mechanical characterization of coffee fruits *Coffea arabica* L. var. Castillo classified by a colorimetry approach. **Materialia**, v.21, p.101330, 2022.
- BUKOVAC, Martin J. Machine-harvest of Sweet Cherries: Effect of Ethephon on Fruit Removal and Quality of the Processed Fruit. Journal of the American Society for **Horticultural Science**, v.104, n.3, p.289-294, 1979.
- CARVALHO, Gladyston Rodrigues *et al.* **Cafeicultura do Cerrado**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2021.
- CASSIA, Marcelo Tufaile *et al.* Quality of mechanized coffee harvesting in circular planting system. **Ciência Rural**, v.43, n.1, p.28-34, 2013.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Café Total: Parque Cafeeiro**. [Brasília: CONAB, 2023]. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/itemlist/category/897-cafe-total-parque-cafeeiro>. Acesso em: 03 out. 2023.
- CRISOSTO, Carlos H.; NAGAO, Mike A. Evaluation of Fruit Removal Force of Coffee Cultivars. **HortScience**, v.26, n.2, p.210, 1991.
- CRUZ, Cosme Damião. Programa Genes - Ampliado e integrado aos aplicativos R, Matlab e Selegen. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.38, n.4, p.547 552, 2016.
- DANTAS, Antonio Augusto Aguilar; CARVALHO, Luiz Gonsaga de; FERREIRA, Elizabeth. Classificação e tendências climáticas em Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, n.6, p.1.862-1.866, 2007.
- DAUM, Thomas. Mechanization and sustainable agri-food system transformation in the Global South. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v.43, n.16, p.1-26, 2023.
- DIAS, Rodrigo Elias Batista Almeida *et al.* Eficiência da colheita mecanizada do café com uso do inibidor de biossíntese de etileno. **Coffee Science**, v.9, n.4, p.527-536, 2014.

- FERRAZ, Gabriel Araújo e Silva *et al.* Geostatistical analysis of fruit yield and detachment force in coffee. **Precision Agriculture**, v.13, p.76-89, 2012.
- FERREIRA JÚNIOR, Luiz de Gonzaga *et al.* Dynamic behavior of coffee tree branches during mechanical harvest. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.173, n., p.105415, 2020.
- FERREIRA JÚNIOR, Luiz de Gonzaga *et al.* Characterization of the coffee fruit detachment force in crop subjected to mechanized harvesting. **Coffee Science**, v. 13, n. 1, p. 71–79, 2018.
- FIGUEIREDO, Vanessa Castro *et al.* Analysis of spatial variability of force detachment of coffee fruits in central pivot. **Coffee Science**, v. 12, n. 2, p. 231–239, 2017.
- FOOYONTPHANICH, Kim *et al.* Multi-scale comparative transcriptome analysis reveals key genes and metabolic reprogramming processes associated with oil palm fruit abscission. **BMC Plant biology**, v.21, n.91, p.2-18, 2021.
- GODINHO, João de Deus *et al.* The best moment to carry out the selective harvest of coffee fruits. **Agronomy Journal**, v.114, n.6, p.3297-3305, 2022.
- INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION. **Coffee Market Report**. Disponível em: <https://www.icocoffee.org/documents/cy2023-24/cmr-1023-e.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2023.
- KAZAMA, Elizabeth Haruna *et al.* Methodology for selective coffee harvesting in management zones of yield and maturation. **Precision Agriculture**, v.22, p.711-733, 2021.
- MALTA, Marcelo Ribeiro; CHAGAS, Sílvio Júlio de Rezende. Colheita, preparo e secagem do café. In: REIS, Paulo Rebelles; CUNHA, Rodrigo Luz da. (Ed.). **Café Arábica do plantio à colheita**. Lavras: EPAMIG, 2010. p. 805-860.
- MELO JÚNIOR, Wellington Washington Andrade de *et al.* Determination of physical and mechanical properties of the coffee branch: An experimental approach. **Coffee Science**, v. 17, p. e172012, 2022.
- OLIVEIRA, Ezequiel de *et al.* Custos operacionais da colheita mecanizada do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.6, 2007.
- SANTINATO, Felipe *et al.* Morphological and productive influence of harvest on coffee plants. **Australian Journal of Crop Science**, v.13, n.1, p.144-150, 2019b.
- SANTINATO, Felipe *et al.* Análise econômica da colheita mecanizada do café utilizando repetidas operações da colhedora. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 3, p. 402 - 411, 2015.
- SANTINATO, Felipe *et al.* Operational cost of mechanized harvesting of first-crop coffee. **Australian Journal of Crop Science**, v.13, n.9, p.1503-1510, 2019a.
- SILVA, Flávio Castro da *et al.* Operacional performance of mechanically harvested coffee and selectivity in accordance to force detachment of fruit. **Coffee Science**, v.8, n.1, p.49-55, 2013.
- SILVA, Fábio Moreira. **Colheita do café mecanizada e semimecanizada**. Lavras: UFLA, 2001. p. 88. (Boletim de Extensão).

SILVA, Fábio Moreira *et al.* Avaliação da colheita mecanizada do café com o uso do ethephon. **Coffee Science**, v.1, n.1, p.1–6, 2006a.

SILVA, Flávio Castro da *et al.* Comportamento da força de desprendimento dos frutos de cafeeiros ao longo do período de colheita. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 2, p. 468-474, 2010a.

SILVA, Fábio Moreira *et al.* Efeitos da colheita manual na bienalidade do cafeeiro em Ijaci, Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, n.3, p. 625-632, 2010b.

SILVA, Fábio Moreira *et al.* Desempenho operacional e econômico da derriça do café com uso da derriçadora lateral. **Coffee Science**, v. 1, n. 2, p.119-125, 2006b.

SOUZA, Gustavo Soares de *et al.* Mechanized harvesting of conilon coffee plants using a self-propelled machine. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.27, n.2, p.140-148, 2023.

TALHINHAS, Pedro *et al.* The coffee leaf rust pathogen *Hemileia vastatrix*: one and a half centuries around the tropics. **Molecular Plant Pathology**, v.18, n.8, p.1039-1051, 2017.

TAVARES, Tiago de Oliveira *et al.* The times, movements and operational efficiency of mechanized coffee harvesting in sloped areas. **PLOS ONE**, v.14, n.5, e0217286, 2019.

TINOCO, Hector Andres *et al.* Experimental Assessment of the Elastic Properties of Exocarp–Mesocarp and Beans of *Coffea arabica* L. var. Castillo Using Indentation Tests. **Agriculture**, v.12, n.4, p.502, 2022.

TRANBARGER, Timothy John; TADEO, Francisco R. Diversity and Functional Dynamics of Fleshy Fruit Abscission Zones. **Annual Plant Reviews online**, v.3, n.2, p.151-213, 2020.

### ARTIGO 3 - DANOS DA COLHEITA MECANIZADA E MANUAL EM CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA

#### RESUMO

A produção de café em larga escala foi possível pela utilização da mecanização do sistema produtivo, em especial a colheita dos frutos. Embora grande parte das regiões produtoras opte pela colheita mecanizada, o café é cultivado em relevos inclinados que podem reduzir ou até mesmo impedir o uso de máquinas. Assim, a busca por cultivares mais adaptadas ao sistema de colheita mecanizado e manual passou a ser uma demanda dos produtores. Este estudo teve como objetivo avaliar os danos causados às plantas no sistema de colheita manual e mecanizado, assim como verificar as características morfológicas das plantas que se correlacionam com os danos durante a derriça dos frutos. O experimento foi conduzido sob delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições. Avaliou-se a desfolha, número e massa de ramos plagiotrópicos quebrados e os danos totais em 11 cultivares de *Coffea arabica*. As características morfológicas das cultivares foram correlacionadas aos danos pela colheita manual e mecanizada. As cultivares MGS Ametista e Paraíso MG H419-1 obtiveram destaque no sistema de colheita mecanizado por não apresentarem danos vegetativos elevados pela ação da colhedora. Em contraste, estas cultivares obtiveram maiores danos quando submetidas ao sistema de colheita manual. Na colheita manual verificou-se correlação da altura, porcentagem de frutos verdes e produtividade com os danos causados às plantas na colheita manual dos frutos. A força de desprendimento dos frutos também foi uma característica importante quando se analisa os danos causados pela colheita, seja manual ou mecanizada. Os resultados obtidos pelo presente estudo são importantes para a escolha da cultivar considerando o sistema de colheita utilizado.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L. Desfolha. Quebra de ramos. Colheita dos frutos.

## 1 INTRODUÇÃO

O café é a bebida mais popular depois da água e apreciado mundialmente, sendo um componente essencial na dieta, e além do sabor, a bebida é uma relevante fonte antioxidante devido à presença de polifenóis, que podem proteger o organismo humano contra diversas doenças (Bosso *et al.*, 2021). Depois do petróleo bruto, o café é o produto mais comercializado no mundo (Le *et al.*, 2020). Duas espécies são consideradas as mais importantes do ponto de vista econômico, cultivadas em áreas tropicais e subtropicais, são *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* que respondem por 60% e 40% da produção mundial, respectivamente (Davis *et al.*, 2020).

A produção global de café atinge aproximadamente 160 milhões de sacas (60 kg por ano), com um pico notável de 174,5 milhões de sacas em 2019. Entre as nações contribuintes, o Brasil se destaca como o maior produtor e exportador, e além disso é o segundo maior consumidor de café do mundo (ICO, 2023). O cultivo de café no Brasil é distribuído em diversas regiões, desde áreas planas mecanizadas a áreas montanhosas de difícil manejo da cultura (Sott *et al.*, 2020).

A substituição do trabalho manual por máquinas aumentou a produtividade, permitiu a gestão de campos maiores e a utilização de cultivares geneticamente melhoradas, fertilizantes e defensivos agrícola, criando economias de escala e uniformidade na produção mundial (Sott *et al.*, 2020). Das etapas de produção de café a colheita é uma das mais complexas e merece atenção, pois é nesta etapa que o produtor retira sua produção do campo e busca o retorno dos seus investimentos (Silva *et al.*, 2013; Santinato *et al.*, 2015a).

A colheita dos frutos de café pode ser realizada com o auxílio de colhedoras que possuem dois cilindros com hastes em seu comprimento para promoverem o desprendimento dos frutos do café (Silva *et al.*, 2020). Quando a máquina passa sobre as plantas de café, as hastes oscilam e produzem uma vibração fazendo com que o fruto seja derriçado (Kazama *et al.*, 2021). A segunda opção de colheita, considerada tradicional, é a colheita manual dos frutos por trabalhadores.

A colheita mecanizada das lavouras cafeeiras viabilizou a produção de café em larga escala, visto que não seria possível a colheita manual de todas estas lavouras devido à escassez de mão de obra no campo (Santinato *et al.*, 2019a). Embora grande parte das regiões produtoras opte pela colheita mecanizada, áreas com relevos inclinados podem reduzir ou até mesmo impedir o uso de máquinas (Fernandes *et al.*, 2012). Diante este cenário, a busca por cultivares

mais adaptados ao sistema de colheita mecanizado e manual passou a ser uma demanda dos produtores.

Uma das preocupações que ocorre durante a colheita, seja ela manual ou mecanizada é a desfolha das plantas e a quebra de ramos. Com a desfolha, a planta produzirá menos no ano seguinte, uma vez que utilizará suas reservas para a recomposição da vegetação e, por conseguinte, terá menor frutificação (Oliveira *et al.*, 2007a). Diferenciar o desempenho das cultivares em relação aos danos causados pela colheita manual e mecanizada pode ajudar aos produtores ao escolher a melhor cultivar para sua condição de cultivo.

Diversos trabalhos foram realizados para comparar a colheita manual e mecanizada. Trabalhos como o de Silva *et al.* (2010) mostraram que a colheita mecanizada era viável em relação a colheita manual sob o aspecto de danos causados às plantas. Outras pesquisas também avaliaram diferentes configurações da colhedora e compararam aos danos causados pela colheita manual (Tavares *et al.*, 2019; Santinato *et al.*, 2019b). Apesar da importância destes trabalhos, os resultados ficam restritos a apenas uma cultivar. Não consta na literatura trabalhos recentes que avaliem os danos causados pela colheita manual e mecanizada considerando diferentes cultivares.

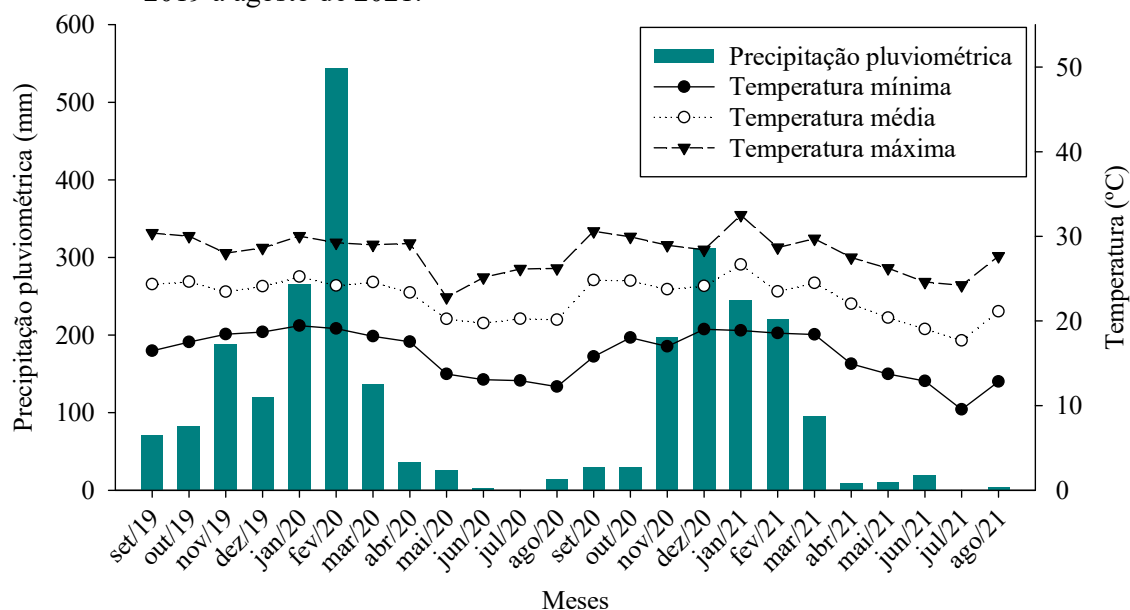
Com intuito de verificar o desempenho das cultivares de café arábica, este estudo teve como objetivo avaliar os danos causados às plantas no sistema de colheita manual e mecanizado, assim como verificar as características morfológicas das plantas que se correlacionam com os danos durante a derriça dos frutos.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Localidade e delineamento experimental**

O experimento foi conduzido numa propriedade rural localizada no município de Lavras, Estado de Minas Gerais, Brasil, latitude de 21°17'20" S e Longitude 45°06'05" W, com altitude de 895 m. De acordo com classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cwa, apresentando duas estações distintas, de abril a setembro período seco, e de outubro a março, período chuvoso. A temperatura média do mês mais quente é de 22,8 °C, a do mês mais frio é de 17,1 °C com uma média anual de 20,4 °C e tem uma precipitação média anual de 1.529 mm (Dantas; Carvalho; Ferreira, 2007). Os dados climáticos foram coletados na estação meteorológica localizado no município de Lavras e estão dispostos na figura 1.

Figura 1 – Precipitação pluviométrica, temperatura máxima, mínima e média coletados na estação meteorológica do município de Lavras - MG para os meses de setembro de 2019 a agosto de 2021.



Fonte: Do autor (2024).

A lavoura foi implantada no ano de 2017 constituída por 11 cultivares de *Coffea arabica* L. (Tabela 1) cultivadas com uma densidade de 4082 plantas por hectare em espaçamento de 3,5m entre linhas e 0,7m entre plantas. A lavoura foi cultivada em sistema de sequeiro, e os tratamentos culturais foram realizados conforme as orientações técnicas para cultura e consistiram basicamente no controle de plantas daninhas com herbicidas e roçadeira, manejo fitossanitário preventivo, calagem e adubação conforme descritos por Carvalho *et al.* (2021).

Tabela 1 – Identificação das 11 cultivares de *Coffea arabica*. Lavras – MG, Brasil.

| Nome da cultivar/progênie | Instituição detentora** |
|---------------------------|-------------------------|
| MGS Ametista              | EPAMIG                  |
| MGS Catucaí Pioneira      | EPAMIG                  |
| Topázio MG 1190           | EPAMIG                  |
| H514-7-8-2*               | EPAMIG                  |
| Catiguá MG2               | EPAMIG                  |
| Catuaí Amarelo IAC 62     | IAC                     |
| H-29-1-8-5*               | EPAMIG                  |
| IAC 125 RN                | IAC                     |
| MGS Paraíso 2             | EPAMIG                  |
| Paraíso MG H 419          | EPAMIG                  |
| Pau Brasil MG1            | EPAMIG                  |

Legenda: \* Progênies do programa de melhoramento em café da EPAMIG. \*\* Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) e Instituto Agrônomo de Campinas (IAC).

Fonte: Do autor (2024).

As avaliações foram realizadas em duas safras consecutivas, 2019/2020 e 2020/2021. O experimento foi conduzido sob delineamento experimental em blocos casualizados em esquema fatorial 2x11, com quatro repetições. Os fatores foram constituídos pelos sistemas de colheita, manual e mecanizado, e os 11 cultivares de *C. arabica*. Cada parcela experimental foi composta de 10 plantas.

Para o sistema de colheita mecanizada foi utilizado uma colhedora automotriz da marca Case IH modelo Coffee Express 200 Multi trabalhando numa velocidade de 900 m h<sup>-1</sup> e vibração de 950 ciclos min<sup>-1</sup>. A colheita mecanizada foi realizada com uma única passada da máquina e o café remanescente foi colhido de forma manual. No sistema de colheita manual os trabalhadores fizeram a derriça das plantas.

## **2.2 Avaliação de danos causados pela colheita manual e mecanizada**

A desfolha (DE) e a quebra de ramos (QR) foram determinados pela massa (kg) das folhas e ramos derrubados da planta em consequência da derriça mecânica e manual sobre as linhas de plantio das cultivares de café. Para coletar as folhas e os ramos, panos foram estendidos sobre o chão por toda a extensão da parcela experimental. Após a passada da colhedora para o tratamento mecanizado e os trabalhadores para o tratamento manual coletou-se as folhas e ramos que caíram sobre os panos. Utilizando uma balança digital foi mensurado a massa fresca de folhas e quebra de ramos de forma separada. A massa dos ramos quebrados representa tanto os ramos com folha quanto os ramos sem folha que foram quebrados da planta e caíram sobre os panos. O número de ramos plagiotrópicos primários quebrados também foi avaliado nos sistemas de colheita. Após a passada da máquina e dos trabalhados no sistema manual contou-se o número de ramos plagiotrópicos primários que foram quebrados.

Com os dados de desfolha e quebra de ramos calculou-se os danos totais (DT) por planta (g planta<sup>-1</sup>), sendo o somatório da desfolha e quebra de ramos. Os danos totais também foram calculados com base no tecido vegetal total de uma planta e puderam também ser expressos em porcentagem da massa vegetal de cada cultivar. Para obtenção do tecido vegetal total (TVT) de cada cultivar foi utilizado o método destrutivo. Com o auxílio de tesouras de poda foram cortados todos os ramos plagiotrópicos a aproximadamente 5 cm de inserção no ramo ortotrópico de quatro plantas representativas de cada cultivar. Em seguida, por meio de balança digital, foi mensurado a massa (g) do tecido vegetal retirado. Os danos totais (DT) foram calculados conforme a seguinte equação:

$$DT (\%) = \frac{DE + QR}{TVT} * 100$$

Em que:

DT – Danos totais em porcentagem;

DE – Desfolha, g planta<sup>-1</sup>;

QR – Quebra de ramos, g planta<sup>-1</sup>;

TVT – Tecido vegetal total, g planta<sup>-1</sup>.

### 2.3 Caracterização das cultivares

Variáveis foram avaliadas nas cultivares de café para obtenção de um conjunto de informações relacionadas às colheitas manual e mecanizada para verificar a existência de correlação. Foram determinadas em ambas as safras a altura das plantas, número de ramos plagiotrópicos primários, diâmetro da copa, vigor, maturação dos frutos, produtividade e força de desprendimento dos frutos.

A altura da planta foi determinada medindo o ramo ortotrópico do solo até o ápice da copa utilizando uma fita métrica graduada em centímetros. O número de ramos plagiotrópicos primários foi determinado pela contagem de todos os ramos plagiotrópicos ligados ao ramo ortotrópico principal desde a base até o ápice da planta. O diâmetro da copa foi obtido considerando o comprimento dos ramos plagiotrópicos de maior extensão no sentido transversal à linha de plantio.

O vigor vegetativo foi determinado por dois avaliadores especialistas atribuindo notas conforme escala arbitrária de 1 a 10 pontos. Essas notas foram baseadas no aspecto vegetativo geral das plantas, sendo nota 1 conferida às piores plantas, com o vigor vegetativo muito reduzido e acentuado sintoma de depauperamento e a nota 10 às plantas com excelente vigor, mais enfolhadas e com acentuado crescimento vegetativo dos ramos produtivos, conforme metodologia adaptada de Botelho *et al.* (2010).

Para determinação da maturação dos frutos de cada cultivar foi realizada a contagem dos frutos verde, cereja e seco contidos numa amostra de 0,3 litros de café retirada do volume total do café de cada parcela experimental. Os dados foram convertidos em porcentagem de frutos cereja, verde e seco.

A produtividade foi determinada pela colheita dos frutos nas parcelas experimentais. Os frutos foram pesados por meio de balança digital portátil e uma amostra de 3 litros foi retirada do volume total da parcela para determinar o rendimento de frutos colhidos para café

beneficiado. As amostras foram levadas para a secagem em terreiro até atingir 12% de umidade e na sequência foram beneficiadas. Os dados de produtividade da parcela foram convertidos em sacas de 60kg de café beneficiado por hectare (sc ha<sup>-1</sup>)

A força de desprendimento dos frutos foi avaliada com um dinamômetro digital portátil anteriormente ao início da derriça dos frutos pela colhedora. Foram mensurados 30 frutos por parcela, sendo 15 frutos verdes e 15 frutos cerejas uniformemente distribuídos sob o terço inferior, médio e superior das plantas. Os valores da força de desprendimento dos frutos cerejas e verdes foram medidos em Newtons (N).

Com os dados de força de desprendimento dos frutos de cada cultivar e os dados de maturação calculou-se um índice que foi denominado de força de desprendimento média (FD média). Como as cultivar não possuem valores uniformes de frutos verdes e cerejas quando comparados entre si, foi calculado a FD média dos frutos com base na porcentagem de maturação dos frutos de cada cultivar. A FD média foi calculada conforme a seguinte equação:

$$FD \text{ média (N)} = \frac{(FD \text{ cereja} * PF \text{ cereja}) + (FD \text{ verde} * PF \text{ verde})}{100}$$

Em que:

FD média: Força de desprendimento média, newtons (N);

FD cereja: Força de desprendimento de frutos cereja, newtons (N);

PF cereja: Porcentagem de maturação para frutos cereja;

FD verde: Força de desprendimento de frutos verde, newtons (N);

PF verde: Porcentagem de maturação para frutos verde.

## 2.4 Análise de dados

Os dados foram tabulados e submetidos à análise de variância pelo teste F ( $p < 0,01$ ). O teste de Scott Knott ( $p \leq 0,05$ ) foi empregado para o agrupamento das médias entre as cultivares com base nas variáveis analisadas. Para verificar a existência e o nível de correlação entre as características das cultivares e as variáveis relacionadas ao desempenho da colheita utilizou-se o método de Spearman. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o software Genes (Cruz, 2016). Os gráficos foram elaborados com a utilização do software SigmaPlot v.14.0.

## 3 RESULTADOS

### 3.1 Danos causados nas plantas das diferentes cultivares pelos sistemas de colheita

Houve interação significativa entre as cultivares e os sistemas de colheita para as variáveis desfolha, quebra de ramos, número de ramos quebrados e danos totais em ambas as safras (Tabelas 2, 3, 4, 5 e 6).

A desfolha das plantas resultou na formação de dois grupos entre as cultivares para a colheita manual, tanto na primeira quanto na segunda safra. Os maiores valores de desfolha para este sistema de colheita foram observados para as cultivares MGS Ametista, MGS Catucaí Pioneira, Topázio MG 1190, Catucaí Amarelo IAC 62 e Pau Brasil MG1 em ambas as safras (Tabela 2). As cultivares Catiguá MG2, IAC 125 RN, MGS Paraíso 2 e Paraíso MG H 419-1 foram as que obtiveram os menores valores de desfolha na colheita manual nas duas safras avaliadas.

Tabela 2 – Resumo da análise de variância e agrupamento das médias entre cultivares de *Coffea arabica* para a desfolha em sistema de colheita manual e mecanizada em duas safras. Lavras, MG – Brasil.

| Resumo de análise de variância |                       |            |                     |            |
|--------------------------------|-----------------------|------------|---------------------|------------|
|                                | Desfolha 1º Safra     |            | Desfolha 2º Safra   |            |
| Cultivares (C)                 | 19,290 <sup>**</sup>  |            | 5,811 <sup>**</sup> |            |
| Sistema (S)                    | 457,904 <sup>**</sup> |            | 0,020 <sup>ns</sup> |            |
| C x S                          | 24,371 <sup>**</sup>  |            | 2,878 <sup>**</sup> |            |
| CV (%)                         | 13,35                 |            | 19,27               |            |
| Média geral                    | 194,21                |            | 297,85              |            |
| Cultivares                     | Desfolha 1º Safra     |            | Desfolha 2º Safra   |            |
|                                | Manual                | Mecanizado | Manual              | Mecanizado |
| (g planta <sup>-1</sup> )      |                       |            |                     |            |
| MGS Ametista                   | 171,00 Aa             | 196,95 Da  | 353,75 Aa           | 291,25 Ba  |
| MGS C. Pioneira                | 190,37 Ab             | 305,87 Ba  | 331,75 Aa           | 383,25 Aa  |
| Topázio MG 1190                | 153,25 Ab             | 252,63 Ca  | 356,75 Aa           | 258,00 Bb  |
| H514-7-8-2                     | 106,37 Bb             | 266,62 Ca  | 357,00 Aa           | 289,25 Ba  |
| Catiguá MG2                    | 92,88 Bb              | 304,88 Ba  | 247,25 Bb           | 383,75 Aa  |
| Catuaí IAC 62                  | 143,75 Ab             | 335,12 Aa  | 300,00 Aa           | 322,25 Aa  |
| H-29-1-8-5                     | 126,50 Bb             | 361,00 Aa  | 320,00 Aa           | 357,25 Aa  |
| IAC 125 RN                     | 102,50 Bb             | 302,00 Ba  | 276,75 Ba           | 302,00 Ba  |
| MGS Paraíso 2                  | 108,13 Bb             | 203,88 Da  | 216,88 Ba           | 267,00 Ba  |
| Paraíso MG H419-1              | 130,00 Ba             | 112,37 Ea  | 203,00 Ba           | 159,50 Ca  |
| Pau Brasil MG1                 | 161,25 Aa             | 145,37 Ea  | 303,75 Aa           | 272,25 Ba  |
| Média                          | 135,09 b              | 253,34 a   | 296,99 a            | 298,70 a   |

Legenda: <sup>ns</sup>, <sup>\*\*</sup> e <sup>\*</sup>, não significativo, significativo a 1 e 5% de probabilidade respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas por letras iguais, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste F e Scott-Knott respectivamente, a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2024).

Para a desfolha na colheita mecanizada cinco grupos foram formados na primeira safra e três grupos na segunda, indicando maior variabilidade de resposta para esse sistema de colheita. Na primeira safra os maiores valores de desfolha neste sistema de colheita foram encontrados para a cultivar Catuaí Amarelo IAC 62 e progênie H-29-1-8-5, e os menores valores observados para as cultivares Paraíso MG H 419-1 e Pau Brasil MG1 (Tabela 2). Para a segunda safra, o maior e o menor valor de desfolha foi encontrado para a cultivar MGS Catucaí Pioneira e Paraíso MG H 419-1, respectivamente.

Quando os dois sistemas de colheita são comparados para os resultados de cada cultivar observa-se tendência de maior desfolha para a colheita mecanizada durante a primeira safra comparativamente ao sistema manual, sendo a exceção as cultivares MGS Ametista, Paraíso MG H 419-1 e Pau Brasil MG1, que foram estatisticamente iguais em níveis de desfolha para os dois sistemas de colheita (Tabela 2). Para a segunda safra houve maior igualdade nos valores de desfolha entre os sistemas de colheita, já que a maior parte das cultivares não diferiram estatisticamente para os níveis de desfolha dos sistemas de colheita, sendo a exceção a cultivar Topázio MG 1190 e Catiguá MG2, que obtiveram valores distintos de desfolha entre o sistema de colheita manual e mecanizado.

A massa de ramos quebrados durante a colheita manual da primeira safra foi superior para a cultivar MGS Ametista, seguido pelas cultivares Paraíso MG H419-1 e Pau Brasil MG1 (Tabela 3). A colheita da segunda safra neste sistema também resultou em maior quebra de ramos plagiotrópicos para a cultivar MGS Ametista.

Tabela 3 – Resumo da análise de variância e agrupamento das médias entre cultivares de *Coffea arabica* para a massa de ramos quebrados em sistema de colheita manual e mecanizada em duas safras. Lavras, MG – Brasil.

| Resumo de análise de variância |                           |    |            |                          |            |           |
|--------------------------------|---------------------------|----|------------|--------------------------|------------|-----------|
|                                | Ramos quebrados 1º Safra  |    |            | Ramos quebrados 2º Safra |            |           |
| Cultivares (C)                 | 9,88**                    |    |            | 18,54**                  |            |           |
| Sistema (S)                    | 6,93**                    |    |            | 23,75**                  |            |           |
| C x S                          | 7,81**                    |    |            | 9,32**                   |            |           |
| CV (%)                         | 36,06                     |    |            | 20,28                    |            |           |
| Média geral                    | 88,19                     |    |            | 230,37                   |            |           |
| Cultivares                     | Ramos quebrados 1º Safra  |    |            | Ramos quebrados 2º Safra |            |           |
|                                | Manual                    |    | Mecanizado | Manual                   | Mecanizado |           |
|                                | (g planta <sup>-1</sup> ) |    |            |                          |            |           |
| MGS Ametista                   | 157,38                    | Aa | 78,70      | Bb                       | 337,50 Aa  | 103,00 Db |
| MGS C. Pioneira                | 38,00                     | Ca | 29,50      | Ca                       | 149,50 Ca  | 131,25 Da |
| Topázio MG 1190                | 65,87                     | Ca | 34,25      | Ca                       | 178,25 Ca  | 118,25 Db |
| H514-7-8-2                     | 40,37                     | Ca | 38,63      | Ca                       | 140,25 Ca  | 130,75 Da |

|                   |        |    |        |    |        |    |        |    |
|-------------------|--------|----|--------|----|--------|----|--------|----|
| Catiguá MG2       | 46,87  | Ca | 71,25  | Ba | 246,50 | Bb | 358,25 | Aa |
| Catuaí IAC 62     | 60,50  | Ca | 60,50  | Ba | 184,25 | Ca | 141,25 | Da |
| H-29-1-8-5        | 27,00  | Ca | 59,13  | Ba | 157,00 | Ca | 137,00 | Da |
| IAC 125 RN        | 63,63  | Ca | 67,75  | Ba | 213,75 | Ca | 193,25 | Ca |
| MGS Paraíso 02    | 70,37  | Cb | 132,88 | Aa | 258,38 | Ba | 268,00 | Ba |
| Paraíso MG H419-1 | 116,75 | Ba | 28,88  | Cb | 167,00 | Ca | 91,25  | Db |
| Pau Brasil MG1    | 119,63 | Ba | 56,75  | Bb | 269,75 | Ba | 191,00 | Cb |
| Média             | 73,31  | a  | 59,84  | b  | 209,28 | a  | 169,39 | b  |

Legenda: \*\* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. Médias seguidas por letras iguais, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste F e Scott-Knott respectivamente, a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2024).

Quando se avalia a massa de ramos quebrados das cultivares no sistema de colheita mecanizado observa-se a formação de três grupos de médias para a colheita da primeira safra e quatro grupos para a colheita da segunda safra (Tabela 3). As cultivares MGS Catucaí Pioneira, Topázio MG 1190, Paraíso MG H419-1 e a progênie H514-7-8-2 obtiveram em ambas as safras as menores médias para a massa de ramos plagiotrópicos quebrados. A maior média para a primeira safra foi obtida pela cultivar MGS Paraíso 2. Para a segunda safra as maiores médias foram obtidas pelas cultivares Catiguá MG2 seguida pela cultivar MGS Paraíso 2.

Houve diferença significativa entre os sistemas de colheita quando comparados entre si para a massa de ramos plagiotrópicos quebrados nas cultivares (Tabela 3). Na primeira e segunda safra, a colheita manual das cultivares MGS Ametista, Paraíso MG H419-1 e Pau Brasil MG1 resultou em maior massa de ramos quebrados comparada a colheita mecanizada nestas mesmas cultivares. A cultivar Topázio MG 1190 também obteve, somente na segunda safra, maior massa de ramos quebrados na colheita manual. A cultivar MGS Paraíso 2 na primeira safra e a cultivar Catiguá MG2 na segunda safra obtiveram maior valor de massa de ramos quebrados na colheita mecanizada em comparação a colheita manual. Para as demais cultivares não houve diferença significativa entre os sistemas de colheita em ambas as safras.

Os resultados para o número de ramos plagiotrópicos quebrados mostram que algumas cultivares quebraram uma menor quantidade de ramos no sistema de colheita manual e outros obtiveram médias estatisticamente iguais para os dois sistemas de colheita (Tabela 4). Apesar de algumas cultivares possuírem médias iguais entre os sistemas de colheita, quando os resultados são observados de forma ampla é possível verificar uma tendência de maior quantidade de ramos plagiotrópicos primários quebrados no sistema de colheita mecanizado. A cultivar que se restringe a essa tendência é a MGS Ametista, que atingiu maior número de ramos quebrados no sistema de colheita manual em comparação ao mecanizado em ambas as safras.

Tabela 4 – Resumo da análise de variância e agrupamento das médias entre cultivares de *Coffea arabica* para o número de ramos plagiotrópicos primários quebrados por hectare em sistema de colheita manual e mecanizada em duas safras. Lavras, MG – Brasil.

| Resumo da análise de variância |                    |            |                    |            |
|--------------------------------|--------------------|------------|--------------------|------------|
|                                | Nº Ramos quebrados |            | Nº Ramos quebrados |            |
|                                | 1º Safra           |            | 2º Safra           |            |
| Cultivares (C)                 | 3,19*              |            | 5,74**             |            |
| Sistema (S)                    | 34,64**            |            | 25,75**            |            |
| C x S                          | 3,03*              |            | 7,53**             |            |
| CV (%)                         | 43,99              |            | 28,58              |            |
| Média geral                    | 3395,53            |            | 7681,62            |            |
| Cultivares                     | Nº Ramos quebrados |            | Nº Ramos quebrados |            |
|                                | 1º Safra           |            | 2º Safra           |            |
|                                | Manual             | Mecanizado | Manual             | Mecanizado |
| MGS Ametista                   | 5613 Aa            | 3062 Bb    | 12756 Aa           | 8164 Bb    |
| MGS C. Pioneira                | 2143 Ba            | 2858 Ba    | 4796 Cb            | 9185 Ba    |
| Topázio MG 1190                | 3164 Ab            | 5613 Aa    | 8572 Ba            | 6838 Ba    |
| H514-7-8-2                     | 816 Ba             | 2551 Ba    | 2347 Db            | 8470 Ba    |
| Catiguá MG2                    | 3674 Aa            | 4491 Aa    | 5409 Cb            | 15818 Aa   |
| Catuaí IAC 62                  | 1633 Bb            | 4797 Aa    | 8674 Ba            | 6837 Ba    |
| H-29-1-8-5                     | 2041 Bb            | 5511 Aa    | 2347 Db            | 6838 Ba    |
| IAC 125 RN                     | 919 Bb             | 3878 Ba    | 5817 Cb            | 9185 Ba    |
| MGS Paraíso 02                 | 919 Bb             | 4490 Aa    | 5307 Cb            | 9593 Ba    |
| Paraíso MG H419-1              | 3878 Aa            | 4797 Aa    | 6735 Ca            | 6940 Ba    |
| Pau Brasil MG1                 | 2245 Bb            | 5613 Aa    | 8674 Ba            | 9695 Ba    |
| Média                          | 2459 b             | 4333 a     | 6494 b             | 8869 a     |

Legenda: \*\* e \*, significativo a 1 e 5% de probabilidade respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas por letras iguais, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste F e Scott-Knott respectivamente, a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2024).

Quando as cultivares são comparadas entre si dentro de cada sistema de colheita para o número de ramos plagiotrópicos primários quebrados verifica-se que houve a formação de dois grupos de médias para a colheita manual da primeira safra e quatro grupos para a colheita da segunda safra (Tabela 4). Na colheita manual da primeira safra as cultivares MGS Ametista, Topázio MG 1190, Catiguá MG2 e Paraíso MG H419-1 foram as que obtiveram maior número de ramos plagiotrópicos primários quebrados. Para a colheita da segunda safra a cultivar MGS Ametista, seguido pelas cultivares Topázio MG 1190, Catuaí Amarelo IAC 62 e Pau Brasil MG1 obtiveram maior quebra de ramos plagiotrópicos primários pelo efeito da colheita manual.

Para a colheita mecanizada as cultivares se dividiram em dois grupos de médias para a primeira e segunda safra (Tabela 4). O grupo com o menor número de ramos plagiotrópicos quebrados dentro deste sistema de colheita na primeira safra foi composto pelas cultivares MGS Ametista, MGS Catuaí Pioneira, IAC 125 RN e a progênie H514-7-8-2. Em média este grupo

quebrou 38% menos ramos plagiotrópicos primários comparado ao grupo formado pelas demais cultivares. Na colheita mecanizada da segunda safra, a cultivar Catiguá MG2 obteve maior número de ramos plagiotrópicos primários quebrados e as demais cultivares foram estatisticamente iguais entre si.

Os danos totais em valores absolutos nas plantas foram estatisticamente diferentes entre as cultivares quando são comparados entre si dentro de cada sistema de colheita em ambas as safras (Tabela 5). Houve a formação de três grupos de médias entre as cultivares para os dois sistemas de colheita na primeira safra. Para a segunda safra as cultivares formaram dois grupos de médias quando são comparados entre si no sistema de colheita manual. Quando comparados entre si nesta safra para o sistema de colheita mecanizado observa-se maior variabilidade de resposta das cultivares, formando quatro grupos de médias (Tabela 5).

Tabela 5 – Resumo da análise de variância e agrupamento das médias entre cultivares de *Coffea arabica* para os danos totais em sistema de colheita manual e mecanizada em duas safras. Lavras, MG – Brasil.

| Resumo da análise de variância |              |            |              |            |
|--------------------------------|--------------|------------|--------------|------------|
|                                | Danos Totais |            | Danos Totais |            |
|                                | 1º Safra     |            | 2º Safra     |            |
| Cultivares (C)                 | 4,60**       |            | 6,52**       |            |
| Sistema (S)                    | 132,40**     |            | 4,77*        |            |
| C x S                          | 18,74**      |            | 5,84**       |            |
| CV (%)                         | 16,36        |            | 16,84        |            |
| Média geral                    | 260,99       |            | 487,19       |            |
| Cultivares                     | Danos Totais |            | Danos Totais |            |
|                                | 1º Safra     |            | 2º Safra     |            |
|                                | Manual       | Mecanizado | Manual       | Mecanizado |
| g planta <sup>-1</sup>         |              |            |              |            |
| MGS Ametista                   | 328,50 Aa    | 275,75 Ba  | 691,25 Aa    | 394,25 Cb  |
| MGS C. Pioneira                | 228,50 Bb    | 335,50 Ba  | 481,25 Ba    | 514,50 Ba  |
| Topázio MG 1190                | 219,25 Bb    | 287,00 Ba  | 535,00 Ba    | 376,25 Cb  |
| H514-7-8-2                     | 147,00 Cb    | 305,50 Ba  | 497,25 Ba    | 420,00 Ba  |
| Catiguá MG2                    | 140,00 Cb    | 376,25 Aa  | 493,75 Bb    | 742,00 Aa  |
| Catuaí IAC 62                  | 204,50 Cb    | 395,75 Aa  | 484,25 Ba    | 463,50 Ba  |
| H-29-1-8-5                     | 153,75 Cb    | 420,25 Aa  | 477,00 Ba    | 494,25 Ba  |
| IAC 125 RN                     | 166,25 Cb    | 370,25 Aa  | 490,50 Ba    | 495,25 Ba  |
| MGS Paraíso 02                 | 178,50 Cb    | 337,00 Ba  | 475,50 Ba    | 535,00 Ba  |
| Paraíso MG H419-1              | 247,25 Ba    | 141,50 Cb  | 370,00 Ba    | 250,75 Db  |
| Pau Brasil MG1                 | 281,25 Aa    | 202,25 Cb  | 573,50 Aa    | 463,25 Ba  |
| Média                          | 208,61 b     | 313,34 a   | 506,30 a     | 468,09 b   |

Legenda: \*\* e \*, significativo a 1 e 5% de probabilidade respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas por letras iguais, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste F e Scott-Knott respectivamente, a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2024).

Na colheita manual de ambas as safras, as cultivares MGS Ametista e Pau Brasil MG1 foram as que obtiveram os maiores níveis de danos totais (Tabela 5). Os menores valores de danos totais neste sistema de colheita na primeira safra foram observados para as cultivares Catiguá MG2, Catuaí Amarelo IAC 62, IAC 125 RN, MGS Paraíso 2 e as progênies H514-7-8-2 e H29-1-8-5. Para a segunda safra as demais cultivares foram estatisticamente iguais entre si e com danos totais inferiores às cultivares MGS Ametista e Pau Brasil MG1.

No sistema de colheita mecanizado as cultivares Paraíso MG H419-1 e Pau Brasil MG1 se destacaram na primeira safra com os menores valores de danos totais entre as cultivares (Tabela 5). Na colheita mecanizada da segunda safra, novamente a cultivar Paraíso MG H419-1 seguida pelas cultivares Topázio MG 1190 e MG Ametista obtiveram os menores valores de danos totais causados às plantas. Os maiores danos totais neste sistema de colheita foram observados na primeira safra para as cultivares Catiguá MG2, Catuaí Amarelo IAC 62, IAC 125 RN e a progênie H29-1-8-5. Na segunda safra, a cultivar Catiguá MG2 obteve o maior dano total entre as cultivares.

Quando os sistemas de colheita são comparados entre si é possível verificar que para a grande parte das cultivares o sistema de colheita mecanizado foi mais prejudicial as plantas na colheita da primeira safra, resultando em maiores valores de danos totais em comparação ao sistema de colheita manual (Tabela 5). Apesar disto, as cultivares Paraíso MG H419-1 e Pau Brasil MG1 divergem deste comportamento, obtendo maiores danos totais no sistema de colheita manual. O genótipo com maior desigualdade de resultado entre o sistema de colheita manual e mecanizado foi a progênie H29-1-8-5, onde o valor de danos totais no sistema de colheita mecanizado foi 173% superior ao sistema de colheita manual.

Na colheita da segunda safra não se identificou, como na primeira safra, o sistema que foi mais prejudicial às plantas. Na colheita desta safra observa-se que as cultivares MGS Ametista, Topázio MG 1190 e Paraíso MG H419-1 foram mais prejudicadas pelo sistema de colheita manual e a cultivares Catiguá MG2 mais prejudicada pelo sistema de colheita mecanizado (Tabela 5). As demais cultivares obtiveram danos totais estatisticamente iguais entre os dois sistemas de colheita.

Os danos totais em porcentagem do tecido vegetal de cada cultivar podem ser observados na Tabela 6. As cultivares MGS Ametista, Paraíso MG H419-1 e Pau Brasil MG1 obtiveram, entre as cultivares, maior porcentagem do tecido vegetal da planta prejudicado no sistema de colheita manual da primeira safra. Neste sistema de colheita, os menores danos totais foram observados para as cultivares Catuaí Amarelo IAC 62, IAC 125 RN e MGS Paraíso 2. Na colheita desta safra no sistema mecanizado a progênie H29-1-8-5 obteve danos totais

superior as demais cultivares e os menores valores foram obtidos pelas cultivares MGS Paraíso 2, Paraíso MG H419-1 e Pau Brasil MG1 (Tabela 6).

Tabela 6 – Resumo da análise de variância e agrupamento das médias entre cultivares de *Coffea arabica* para os danos Totais em porcentagem do tecido total vegetal de cada cultivar em sistema de colheita manual e mecanizada em duas safras. Lavras, MG – Brasil.

| Resumo da análise de variância |                          |            |  |                          |            |
|--------------------------------|--------------------------|------------|--|--------------------------|------------|
|                                | Danos Totais<br>1º Safra |            |  | Danos Totais<br>2º Safra |            |
| Cultivares (C)                 | 16,08**                  |            |  | 31,85**                  |            |
| Sistema (S)                    | 151,64**                 |            |  | 5,84*                    |            |
| C x S                          | 27,79**                  |            |  | 6,13**                   |            |
| CV (%)                         | 15,21                    |            |  | 18,64                    |            |
| Média geral                    | 6,13                     |            |  | 18,72                    |            |
| Cultivares                     | Danos Totais<br>1º Safra |            |  | Danos Totais<br>2º Safra |            |
|                                | Manual                   | Mecanizado |  | Manual                   | Mecanizado |
|                                | %                        |            |  |                          |            |
| MGS Ametista                   | 7,02 Aa                  | 5,89 Ca    |  | 35,23 Aa                 | 20,09 Bb   |
| MGS C. Pioneira                | 4,72 Cb                  | 6,93 Ca    |  | 13,55 Da                 | 14,49 Ca   |
| Topázio MG 1190                | 5,47 Bb                  | 7,17 Ca    |  | 15,97 Da                 | 11,23 Ca   |
| H514-7-8-2                     | 5,08 Cb                  | 10,57 Ba   |  | 31,93 Aa                 | 26,97 Ab   |
| Catiguá MG2                    | 4,02 Cb                  | 10,82 Ba   |  | 19,50 Cb                 | 29,30 Aa   |
| Catuai IAC 62                  | 3,26 Db                  | 6,32 Ca    |  | 11,96 Da                 | 11,45 Ca   |
| H-29-1-8-5                     | 4,46 Cb                  | 12,20 Aa   |  | 13,45 Da                 | 13,93 Ca   |
| IAC 125 RN                     | 2,90 Db                  | 6,45 Ca    |  | 25,78 Ba                 | 26,03 Aa   |
| MGS Paraíso 02                 | 2,91 Db                  | 5,49 Da    |  | 15,70 Da                 | 17,67 Ba   |
| Paraíso MG H419-1              | 7,17 Aa                  | 4,10 Db    |  | 11,75 Da                 | 7,96 Ca    |
| Pau Brasil MG1                 | 7,01 Aa                  | 5,04 Db    |  | 21,01 Ca                 | 16,97 Ba   |
| Média                          | 4,91 b                   | 7,36 a     |  | 19,62 a                  | 17,83 b    |

Legenda: \*\* e \*, significativo a 1 e 5% de probabilidade respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas por letras iguais, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste F e Scott-Knott respectivamente, a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2024).

Na colheita da segunda safra, a cultivar MGS Ametista e a progênie H514-7-8-2 formaram o grupo com as médias superiores para os danos totais no sistema de colheita manual (Tabela 6). Os menores valores de danos totais foram registrados para as cultivares MGS Catucaí Pioneira, Topázio MG 1190, Catucaí Amarelo IAC 62, MGS Paraíso 2, Paraíso MG H419-1 e a progênie H29-1-8-5.

Na colheita mecanizada da segunda safra o grupo com os maiores danos totais em porcentagem do tecido vegetal foi formado pelas cultivares IAC 125 RN, Catiguá MG2 e a progênie H514-7-8-2 (Tabela 6). Os menores valores foram observados para as cultivares MGS

Catuaí Pioneira, Topázio MG 1190, Catuaí Amarelo IAC 62, Paraíso MG H419-1 e a progênie H29-1-8-5.

Quando os sistemas de colheita são comparados entre si para a os danos totais em porcentagem do tecido vegetal das plantas observa-se que para a avaliação da primeira safra o sistema de colheita mecanizado foi mais prejudicial as cultivares, sendo a exceção as cultivares MGS Ametista, Paraíso MG H 419-1 e Pau Brasil MG1 (Tabela 6). Para a avaliação da segunda safra houve diferença significativa entre os sistemas de colheita somente quando são comparados para o desempenho da cultivares MGS Ametista, Catiguá MG e a progênie H514-7-8-2. Para a cultivar MGS Ametista e a progênie H514-7-8-2 os danos totais em porcentagem foram maiores no sistema de colheita manual. Para a cultivar Catiguá MG2 os danos foram maiores para o sistema de colheita mecanizado.

### 3.2 Caracterização das cultivares e correlação com os danos da colheita

O número de ramos plagiotrópicos foi mensurado nas plantas na primeira e segunda safra. Para a primeira safra ainda não havia influência dos sistemas de colheita, e por isso, o número de plagiotrópicos foi comparado somente entre as cultivares (Tabela 7). Para esta safra, as cultivares Topázio MG 1190 e MGS Paraíso 2 foram as que tiveram o maior número de ramos plagiotrópicos.

Tabela 7 – Resumo da análise de variância e agrupamento das médias entre cultivares de *Coffea arabica* para o número de ramos plagiotrópicos por planta em sistema de colheita manual e mecanizada em duas safras. Lavras, MG – Brasil.

| Manual e mecanizada em duas safras. Lavras, MG - Brasil. |                                |          |            |
|----------------------------------------------------------|--------------------------------|----------|------------|
|                                                          | Resumo da análise de variância |          |            |
|                                                          | Número de ramos plagiotrópicos |          |            |
|                                                          | 1º safra                       | 2º safra |            |
| Cultivares (C)                                           | 4,90**                         | 13,74**  |            |
| Sistema (S)                                              | -                              | 76,59**  |            |
| C x S                                                    | -                              | 2,73*    |            |
| CV (%)                                                   | 5,77                           | 5,01     |            |
| Média geral                                              | 65,95                          | 83,81    |            |
|                                                          | Número de ramos plagiotrópicos |          |            |
| Cultivares                                               | 1º safra                       | 2º safra |            |
|                                                          |                                | Manual   | Mecanizado |
| MGS Ametista                                             | 65,13 C                        | 93 Aa    | 82 Ab      |
| MGS C. Pioneira                                          | 66,44 B                        | 94 Aa    | 85 Ab      |
| Topázio MG 1190                                          | 73,81 A                        | 96 Aa    | 86 Ab      |
| H514-7-8-2                                               | 63,75 C                        | 82 Ba    | 71 Bb      |
| Catiguá MG2                                              | 67,00 B                        | 82 Ba    | 84 Aa      |
| Catuaí IAC 62                                            | 67,69 B                        | 94 Aa    | 85 Ab      |

|                                |          |            |                         |
|--------------------------------|----------|------------|-------------------------|
| H-29-1-8-5                     | 67,81 B  | 88 Aa      | 76 Bb                   |
| IAC 125 RN                     | 62,44 C  | 76 Ba      | 76 Ba                   |
| MGS Paraíso 02                 | 70,88 A  | 90 Aa      | 84 Ab                   |
| Paraíso MG H419-1              | 59,81 C  | 81 Ba      | 73 Bb                   |
| Pau Brasil MG1                 | 60,69 C  | 90 Aa      | 75 Bb                   |
| Média geral                    | 65,95    | 87,73 a    | 79,90 b                 |
| Correlações                    |          |            |                         |
| Número de ramos plagiotrópicos |          |            |                         |
|                                | 1º safra |            | 2º safra                |
|                                | Manual   | Mecanizado | Manual                  |
|                                |          |            | Mecanizado              |
| Desfolha                       | 0,12     | 0,48       | <b>0,37<sup>a</sup></b> |
| Ramos quebrados                | -0,23    | 0,30       | 0,15                    |
| Nº Ramos quebrados             | 0,06     | 0,21       | 0,28                    |
| Danos Totais                   | -0,07    | 0,55       | <b>0,40<sup>a</sup></b> |

Legenda: \*\* e <sup>ns</sup>, não significativo e significativo a 1% de probabilidade respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas por letras iguais, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste F e Scott-Knott respectivamente, a 5% de probabilidade. <sup>a</sup> correlações significativas pelo teste t a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2024).

Para a segunda safra verifica-se que houve diferença significativa entre os sistemas de colheita, as cultivares e a interação entre estes fatores (Tabela 7). Comparando as cultivares dentro de cada sistema de colheita verifica-se que houve a formação de dois grupos, tanto para o sistema de colheita manual, quanto para o mecanizado. As cultivares MGS Ametista, MGS Catucaí Pioneira, Topázio MG 1190, Catucaí Amarelo IAC 62 e MGS Paraíso 2 obtiveram maior número de ramos plagiotrópicos por planta em ambos os sistemas de colheita.

Para a maioria das cultivares o maior número de ramos plagiotrópicos foi verificado para o sistema de colheita manual quando comparado ao sistema de colheita mecanizado (Tabela 7). A exceção deste resultado ocorreu para as cultivares Catiguá MG2 e IAC 125 RN que obtiveram número estatisticamente igual de ramos plagiotrópicos para os dois sistemas de colheita.

Houve correlação significativa para o número de ramos plagiotrópicos nas plantas e a desfolha e os danos totais causados na colheita manual da segunda safra (Tabela 7). A correlação indica que as plantas com o maior número de ramos plagiotrópicos obtiveram também maiores danos pelo efeito da colheita manual.

Para a altura das plantas as cultivares foram divididas, na primeira safra, em três grupos, com médias que variaram de 124 a 156 cm (Tabela 8). O grupo com as maiores médias de altura de planta foi composto pelas cultivares MGS Ametista, Topázio MG 1190, Catiguá MG2, Catucaí Amarelo IAC 62, MGS Paraíso 2 e Pau Brasil MG1. A cultivar Paraíso MG H419-1 obteve a menor altura de planta, isolando-se das demais cultivares.

Tabela 8 – Resumo da análise de variância e agrupamento das médias entre cultivares de *Coffea arabica* L. para a altura da planta e comprimento do ramo plagiotrópico em duas safras. Lavras, MG – Brasil.

| Resumo da análise de variância |                  |          |                              |          |                  |      |          |      |
|--------------------------------|------------------|----------|------------------------------|----------|------------------|------|----------|------|
|                                | Altura da planta |          | Comprimento de plagiotrópico |          |                  |      |          |      |
|                                | 1º safra         | 2º safra | 1º safra                     | 2º safra |                  |      |          |      |
| Cultivares                     | 9,76**           | 9,80**   | 4,90**                       | 6,92**   |                  |      |          |      |
| CV (%)                         | 4,04             | 3,42     | 4,47                         | 5,23     |                  |      |          |      |
| Média geral                    | 149              | 173      | 172                          | 135      |                  |      |          |      |
| Cultivares                     | Altura da planta |          | Diâmetro da copa             |          |                  |      |          |      |
|                                | cm               |          |                              |          |                  |      |          |      |
|                                | 1º safra         | 2º safra | 1º safra                     | 2º safra |                  |      |          |      |
| MGS Ametista                   | 154 a            | 182 a    | 169 b                        | 138 b    |                  |      |          |      |
| MGS C. Pioneira                | 146 b            | 180 a    | 165 b                        | 147 a    |                  |      |          |      |
| Topázio MG 1190                | 153 a            | 174 b    | 177 a                        | 127 c    |                  |      |          |      |
| H514-7-8-2                     | 143 b            | 156 c    | 175 a                        | 136 b    |                  |      |          |      |
| Catiguá MG2                    | 153 a            | 175 b    | 182 a                        | 128 c    |                  |      |          |      |
| Catuaí IAC 62                  | 156 a            | 184 a    | 175 a                        | 128 c    |                  |      |          |      |
| H-29-1-8-5                     | 148 b            | 172 b    | 165 b                        | 146 a    |                  |      |          |      |
| IAC 125 RN                     | 148 b            | 176 b    | 184 a                        | 136 b    |                  |      |          |      |
| MGS Paraíso 02                 | 154 a            | 169 b    | 171 a                        | 133 c    |                  |      |          |      |
| Paraíso MG H419-1              | 124 c            | 158 c    | 154 c                        | 119 c    |                  |      |          |      |
| Pau Brasil MG1                 | 156 a            | 182 a    | 177 a                        | 148 a    |                  |      |          |      |
| Correlações                    |                  |          |                              |          |                  |      |          |      |
|                                | Altura da planta |          |                              |          | Diâmetro da copa |      |          |      |
|                                | 1º Safra         |          | 2º Safra                     |          | 1º Safra         |      | 2º Safra |      |
|                                | Man              | Mec      | Man                          | Mec      | Man              | Mec  | Man      | Mec  |
|                                |                  |          |                              |          |                  |      |          |      |
| Desfolha                       | 0,21             | 0,00     | 0,18                         | 0,41     | -0,21            | 0,07 | 0,25     | 0,40 |
| Ramos quebrados                | 0,12             | 0,56     | <b>0,37<sup>a</sup></b>      | 0,15     | 0,02             | 0,34 | -0,02    | 0,19 |
| Nº Ramos quebrados             | 0,05             | 0,48     | <b>0,43<sup>a</sup></b>      | 0,03     | -0,06            | 0,15 | -0,21    | 0,43 |
| Danos Totais                   | 0,19             | 0,17     | <b>0,38<sup>a</sup></b>      | 0,12     | -0,15            | 0,20 | 0,14     | 0,30 |

Legenda: \*\* Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. <sup>a</sup> correlações significativas pelo teste t a 5% de probabilidade. Man: Manual. Mec: Mecanizado.

Fonte: Do autor (2024).

Na avaliação da segunda safra as cultivares também se dividiram em três grupos de médias para a altura das plantas (Tabela 8). O grupo com as maiores médias para esta variável foi composto pelas cultivares MGS Ametista, MGS Catucaí Pioneira, Catuaí Amarelo IAC 62 e Pau Brasil MG1. As menores alturas de plantas foram observadas para a progênie H514-7-8-2 e a cultivar Paraíso MG H 419-1.

Para o diâmetro da copa, dois grupos distintos foram formados na avaliação da primeira safra. O grupo com as maiores médias foi composto pelas cultivares Topázio MG 1190, H514-

7-8-2, Catiguá MG2, Catuaí Amarelo IAC 62, IAC 125 RN, MGS Paraíso 2 e Pau Brasil MG1 (Tabela 8). A cultivar Paraíso MG H 419-1 foi a que obteve menor diâmetro de copa.

As cultivares MGS Catucaí Pioneira, Pau Brasil MG1 e a progênie H29-1-8-5 obtiveram maior diâmetro da copa na segunda safra (Tabela 8). Os menores diâmetros de copa nesta safra foram obtidos pelas cultivares Topázio MG 1190, Catiguá MG2, Catuaí Amarelo IAC 62, MGS Paraíso 2 e Paraíso MG H 419-1.

A altura das plantas e o diâmetro da copa foram correlacionados com os danos causados no sistema de colheita manual e mecanizado (Tabela 8). Houve correlação significativa apenas para a altura das plantas. Para esta variável houve correlação positiva para a colheita manual da segunda safra entre a quebra de ramos, número de plagiotrópicos primários quebrados e danos totais. A correlação indica que quanto maior a altura das plantas, maior foram os danos causados pela colheita manual.

Na avaliação do primeiro ano não havia ainda influência dos sistemas de colheita sob o vigor das plantas. No entanto, fez-se a avaliação das plantas em cada sistema de colheita, com intuito de verificar a homogeneidade desta característica entre as plantas nas parcelas alocadas para o sistema de colheita manual e mecanizado. Como esperado, o vigor das plantas foi igual para uma mesma cultivar entre as parcelas do sistema de colheita manual e mecanizado, houve diferença significativa somente entre as cultivares (Tabela 9). A cultivar MGS Ametista apresentou a melhor nota de vigor na avaliação da primeira safra, e as cultivares IAC 125 RN e Paraíso MG H419-1 receberam as menores notas de vigor.

Tabela 9 – Resumo da análise de variância e agrupamento das médias entre cultivares de *Coffea arabica* L. para o vigor vegetativo em sistema de colheita manual e mecanizado durante a colheita de duas safras. Lavras, MG – Brasil.

| Resumo da análise de variância |                     |                     |  |
|--------------------------------|---------------------|---------------------|--|
|                                | 1º safra            | 2º safra            |  |
| Cultivares (C)                 | 18,01 <sup>**</sup> | 20,41 <sup>**</sup> |  |
| Sistema (S)                    | 1,89ns              | 0,49ns              |  |
| C x S                          | 1,16ns              | 2,31 <sup>*</sup>   |  |
| CV (%)                         | 5,60                | 5,44                |  |
| Média geral                    | 7,96                | 7,70                |  |

| Cultivares      | Vigor 1º safra | Vigor 2º safra |            |
|-----------------|----------------|----------------|------------|
|                 |                | Manual         | Mecanizado |
| MGS Ametista    | 9,47 A         | 8,63 Aa        | 8,31 Aa    |
| MGS C. Pioneira | 7,86 C         | 7,50 Bb        | 8,25 Aa    |
| Topázio MG 1190 | 8,09 C         | 8,19 Aa        | 7,94 Aa    |
| H514-7-8-2      | 7,63 C         | 6,50 Ca        | 6,38 Ca    |
| Catiguá MG2     | 7,80 C         | 7,81 Ba        | 7,19 Bb    |

|                    |                         |            |                               |
|--------------------|-------------------------|------------|-------------------------------|
| Catuaí IAC 62      | 7,97 C                  | 8,06 Aa    | 7,69 Aa                       |
| H-29-1-8-5         | 8,41 B                  | 8,25 Aa    | 8,25 Aa                       |
| IAC 125 RN         | 7,10 D                  | 6,25 Ca    | 6,69 Ca                       |
| MGS Paraíso 02     | 8,36 B                  | 8,50 Aa    | 7,81 Ab                       |
| Paraíso MG H419-1  | 6,99 D                  | 7,63 Ba    | 7,94 Aa                       |
| Pau Brasil MG1     | 7,90 C                  | 7,75 Ba    | 7,94 Aa                       |
| Média              | 7,96                    | 7,73 a     | 7,67 a                        |
| Correlações        |                         |            |                               |
| Vigor vegetativo   |                         |            |                               |
|                    | 1º safra                |            | 2º safra                      |
|                    | Manual                  | Mecanizado | Manual      Mecanizado        |
| Desfolha           | <b>0,41<sup>a</sup></b> | 0,14       | 0,04      0,01                |
| Ramos quebrados    | 0,13                    | 0,48       | <b>0,43<sup>a</sup></b> -0,41 |
| Nº Ramos quebrados | 0,30                    | 0,12       | <b>0,32<sup>a</sup></b> -0,20 |
| Danos Totais       | <b>0,32<sup>a</sup></b> | 0,20       | 0,29      -0,23               |

Legenda: <sup>ns</sup>, <sup>\*\*</sup> e <sup>\*</sup>, não significativo, significativo a 1 e 5% de probabilidade respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas por letras iguais, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste F e Scott-Knott respectivamente, a 5% de probabilidade. <sup>a</sup> correlações significativas pelo teste t a 5% de probabilidade.

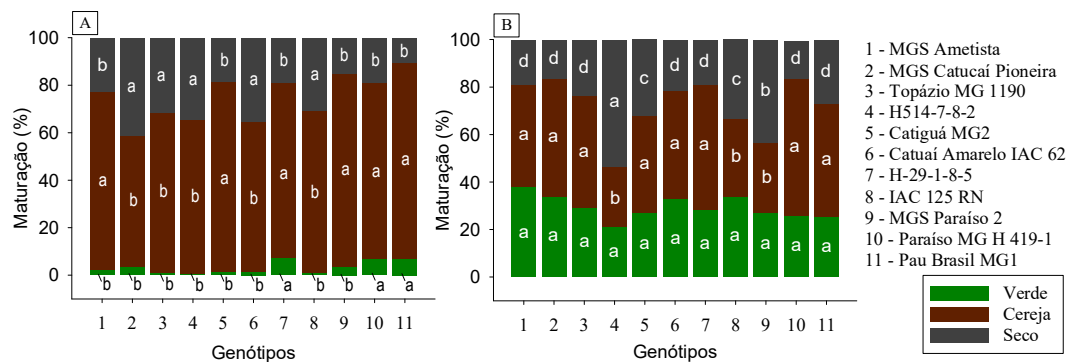
Fonte: Do autor (2024).

O tipo de colheita realizado na primeira safra influenciou o vigor das plantas para a segunda safra avaliada. Nesta avaliação houve diferença significativa para os sistemas de colheita, para as cultivares e interação entre estes fatores (Tabela 9). Comparando as cultivares dentro dos sistemas de colheita observa-se que houve a formação de três grupos de médias em ambos os sistemas de colheita. No sistema de colheita manual as cultivares MGS Ametista, Topázio MG 1190, Catuaí Amarelo IAC 62, MGS Paraíso 2 e a progênie H29-1-8-5 obtiveram maior vigor. No sistema de colheita mecanizado as cultivares com maior vigor foram as cultivares MGS Ametista, MGS Catucaí Pioneira, Topázio MG 1190, Catuaí Amarelo IAC 62, MGS Paraíso 2, Paraíso MG H 419-1, Pau Brasil MG1 e a progênie H-29-1-8-5. A progênie H514-7-8-2 e cultivar IAC 125 RN receberam as menores notas de vigor para ambos os sistemas de colheita.

Houve diferença significativa entre as cultivares para a porcentagem de frutos cerejas, verdes e secos na primeira safra (Figura 2). Nesta safra, as cultivares podem ser divididos em três grupos considerando, em conjunto, os resultados para maturação dos frutos cerejas, verdes e secos. O primeiro grupo é formado pelas cultivares MGS Ametista, Catiguá MG2 e MGS Paraíso 2, caracterizado por maiores valores de frutos cerejas e menores valores para frutos verdes e secos (Figura 2). O segundo grupo formado pelas cultivares MGS Catucaí Pioneira, Topázio MG 1190, Catuaí Amarelo IAC 62, IAC 125 RN e a progênie H514-7-8-2 é caracterizado por menores valores de frutos verdes e cerejas e maiores valores para

porcentagem de frutos secos. O terceiro grupo, formada pela progênie H29-1-8-5 e as cultivares Paraíso MG H419-1 e Pau Brasil MG1, é caracterizado por maiores valores de frutos verdes, cerejas e menores porcentagem de frutos secos.

Figura 2 – Maturação dos frutos em 11 cultivares de *Coffea arabica* L. para a 1º (A) e 2º safra (B). Letras iguais entre as cultivares para cada estágio de maturação numa mesma safra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knot a 5% de probabilidade. Lavras, MG – Brasil



Fonte: Do autor (2024).

Na segunda safra houve diferença estatística entre as cultivares para a porcentagem de frutos cerejas e secos, e para a porcentagem de frutos verdes as cultivares foram considerados iguais estatisticamente (Figura 2). Para a porcentagem de frutos cereja dois grupos de médias foram formados, sendo o grupo com maior porcentagem de frutos cereja formado pelas cultivares MGS Ametista, MGS Catucaí Pioneira, Topázio MG 1190, Catuaí Amarelo IAC 62, Paraíso MG H419-1, Pau Brasil MG1, Catiguá MG2 e a progênie H29-1-8-5. Com exceção da cultivar Catiguá MG2, este grupo de cultivares também obtiveram as maiores médias para a porcentagem de frutos secos. A menor porcentagem de frutos secos foi obtida, de forma isolada, pela progênie H514-7-8-2.

Na primeira safra no sistema de colheita manual houve correlação significativa entre a porcentagem de frutos cerejas e secos com a massa de ramos quebrados (Tabela 10). A correlação indica que nas cultivares com maior porcentagem de frutos cerejas houve maior massa de ramos quebrados e, inversamente, quanto maior a porcentagem de frutos secos menor foi a massa de ramos quebrados.

Tabela 10 – Correlações entre a maturação dos frutos e os danos causados pela colheita manual e mecanizada em cultivares de *Coffea arabica* L. durante duas safras. Lavras, MG – Brasil.

Colheita manual

|                    | Verde                   |          | Cereja                  |          | Seco                     |          |
|--------------------|-------------------------|----------|-------------------------|----------|--------------------------|----------|
|                    | 1º Safra                | 2º Safra | 1º Safra                | 2º Safra | 1º Safra                 | 2º Safra |
| Desfolha           | 0,27                    | -0,01    | -0,09                   | 0,19     | 0,04                     | 0,03     |
| Ramos quebrados    | 0,27                    | 0,22     | <b>0,39<sup>a</sup></b> | -0,14    | <b>-0,43<sup>a</sup></b> | -0,07    |
| Nº Ramos quebrados | 0,28                    | 0,28     | 0,11                    | 0,13     | -0,15                    | -0,25    |
| Danos Totais       | <b>0,37<sup>a</sup></b> | 0,17     | 0,15                    | 0,01     | -0,22                    | -0,02    |

| Colheita mecanizada |          |          |          |          |          |          |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                     | Verde    |          | Cereja   |          | Seco     |          |
|                     | 1º Safra | 2º Safra | 1º Safra | 2º Safra | 1º Safra | 2º Safra |
| Desfolha            | -0,10    | 0,34     | -0,57    | -0,05    | 0,52     | 0,11     |
| Ramos quebrados     | -0,10    | -0,08    | 0,48     | -0,44    | -0,36    | 0,46     |
| Nº Ramos quebrados  | 0,36     | -0,28    | 0,34     | -0,34    | -0,43    | 0,35     |
| Danos Totais        | -0,08    | 0,12     | -0,26    | -0,34    | 0,21     | 0,38     |

Legenda: <sup>a</sup> correlações significativas pelo teste t a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2024).

Apesar da baixa porcentagem de frutos verdes nas plantas no momento da colheita da primeira safra, houve correlação significativa com os danos totais. A correlação indicou que quanto maior a porcentagem de frutos verdes nas plantas, maior foram os danos totais causados.

Por não haver ainda influência dos sistemas de colheita na primeira safra, a produtividade das plantas foi comparada somente entre as cultivares avaliadas. As cultivares se dividiram em dois grupos de médias para a produtividade desta safra (Tabela 11). O grupo com a maior produtividade foi composto pelas cultivares MGS Ametista, MGS Catucaí Pioneira, MGS Paraíso 2, Paraíso MG H 419-1 e Pau Brasil MG1. Este grupo obteve 63% a mais de produtividade em relação ao grupo formado pelas demais cultivares.

Tabela 11 – Resumo da análise de variância e agrupamento das médias entre cultivares de *Coffea arabica* L. para a produtividade em sistema de colheita manual e mecanizado durante duas safras. Lavras, MG – Brasil.

| Resumo da análise de variância |          |                    |
|--------------------------------|----------|--------------------|
|                                | 1º safra | 2º safra           |
| Cultivares (C)                 | 4,58*    | 4,67**             |
| Sistema (S)                    | -        | 1,21 <sup>ns</sup> |
| C x S                          | -        | 1,85 <sup>ns</sup> |
| CV (%)                         | 28,50    | 18,95              |
| Média geral                    | 19,66    | 55,19              |

| Cultivares           | Produtividade          |          |
|----------------------|------------------------|----------|
|                      | 1º safra               | 2º safra |
|                      | sacas ha <sup>-1</sup> |          |
| MGS Ametista         | 26,94 A                | 71,17 A  |
| MGS Catucaí Pioneira | 26,35 A                | 50,63 B  |
| Topázio MG 1190      | 18,07 B                | 57,14 B  |
| H514-7-8-2           | 17,24 B                | 58,67 B  |
| Catiguá MG2          | 18,86 B                | 52,13 B  |

|                       |         |         |
|-----------------------|---------|---------|
| Catuaí Amarelo IAC 62 | 14,70 B | 55,31 B |
| H-29-1-8-5            | 10,38 B | 47,56 B |
| IAC 125 RN            | 12,32 B | 67,22 A |
| MGS Paraíso 2         | 28,71 A | 52,04 B |
| Paraíso MG H 419-1    | 21,15 A | 45,17 B |
| Pau Brasil MG1        | 21,57 A | 50,07 B |

| Correlações        |                         |                          |                         |            |
|--------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|------------|
|                    | Produtividade           |                          |                         |            |
|                    | 1º Safra                |                          | 2º Safra                |            |
|                    | Manual                  | Mecanizado               | Manual                  | Mecanizado |
| Desfolha           | <b>0,55<sup>a</sup></b> | <b>-0,60<sup>a</sup></b> | <b>0,41<sup>a</sup></b> | 0,25       |
| Ramos quebrados    | <b>0,47<sup>a</sup></b> | 0,16                     | <b>0,56<sup>a</sup></b> | -0,26      |
| Nº Ramos quebrados | 0,25                    | -0,23                    | 0,24                    | -0,10      |
| Danos Totais       | <b>0,62<sup>a</sup></b> | -0,55                    | <b>0,64<sup>a</sup></b> | -0,17      |

Legenda: <sup>ns</sup>, <sup>\*\*</sup> e <sup>\*</sup>, não significativo, significativo a 1 e 5% de probabilidade respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. <sup>a</sup> correlações significativas pelo teste t a 5% de probabilidade. <sup>a</sup> correlações significativas pelo teste t a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2024).

Para a produtividade da segunda safra foi verificado se houve diferença significativa para os sistemas de colheita, para as cultivares e a interação entre estes fatores. Verificou-se que houve diferença significativa somente entre as cultivares (Tabela 11). Semelhante a primeira safra, as cultivares também se dividiram em dois grupos de médias para a produtividade. O grupo com a maior produtividade foi formado pelas cultivares MGS Ametista e IAC 125 RN. Destaque para a cultivar MGS Ametista que esteve, tanto na primeira quanto na segunda safra, entre as cultivares de maior produtividade.

A produtividade das cultivares foi correlacionada com os danos causados pela colheita manual e mecanizada (Tabela 11). A desfolha, quebra de ramos e danos totais na colheita manual correlacionou-se positivamente com a produtividade das cultivares. A correlação indica que quanto maior foi a produtividade maior foram também os danos causados por desfolha, quebra de ramos e os danos totais na colheita manual.

Com intuito de verificar a influência dos danos causado na primeira safra com a produtividade da segunda safra correlacionou-se em cada sistema de colheita a produtividade da segunda safra com a desfolha, massa e número de ramos plagiotrópicos quebrados e danos totais com a produtividade da segunda safra. Observou-se uma correlação significativa entre o número de ramos plagiotrópicos quebrados na primeira safra com a produtividade da segunda safra no sistema de colheita mecanizado (Tabela 12). A correlação observada foi classificada

como negativa, indicando que quanto maior o número de ramos plagiotrópicos quebrados no sistema de colheita mecanizado menor foi a produtividade das cultivares na segunda safra.

Tabela 12 – Correlação entre os danos causados nas plantas de cultivares de *Coffea arabica* L. da primeira safra com a produtividade da segunda safra em sistema de colheita manual e mecanizado. Lavras, MG – Brasil.

| Danos colheita 1º Safra | Produtividade 2º Safra |                          |
|-------------------------|------------------------|--------------------------|
|                         | Manual                 | Mecanizado               |
| Desfolha                | 0,01                   | 0,13                     |
| Ramos quebrados         | 0,21                   | -0,12                    |
| Nº Ramos quebrados      | -0,14                  | <b>-0,40<sup>a</sup></b> |
| Danos Totais            | 0,08                   | 0,04                     |

Legenda: <sup>a</sup> correlações significativas pelo teste t a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2024).

A força de desprendimento dos frutos foi comparada entre as cultivares e as safras avaliadas (Tabela 13). Houve diferença significativa entre as cultivares, as safras avaliadas e a interação entre estes fatores para a força de desprendimento dos frutos cereja, verdes e o índice FD média dos frutos.

Tabela 13 – Resumo da análise de variância e agrupamento das médias entre cultivares de *Coffea arabica* L. para a força de desprendimento dos frutos cereja (FD cereja), verde (FD verde) e a força de desprendimento média (FD média) em duas safras. Lavras, MG – Brasil.

|                | Resumo da análise de variância |  |                     |  |                     |  |
|----------------|--------------------------------|--|---------------------|--|---------------------|--|
|                | FD cereja                      |  | FD verde            |  | FD média            |  |
| Cultivares (C) | 19,41 <sup>**</sup>            |  | 21,01 <sup>**</sup> |  | 22,01 <sup>**</sup> |  |
| Safra (S)      | 0,712 <sup>ns</sup>            |  | 7,66 <sup>**</sup>  |  | 41,70 <sup>**</sup> |  |
| C x S          | 4,562 <sup>**</sup>            |  | 2,68 <sup>*</sup>   |  | 4,51 <sup>**</sup>  |  |
| CV (%) – G     | 12,71                          |  | 8,14                |  | 11,64               |  |
| CV (%) – S     | 8,48                           |  | 7,85                |  | 12,39               |  |
| Média Geral    | 5,33                           |  | 8,4                 |  | 4,72                |  |

| Cultivares       | FD cereja |          | FD verde |          | FD média |          |
|------------------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                  | 1º Safra  | 2º Safra | 1º Safra | 2º Safra | 1º Safra | 2º Safra |
| MGS Ametista     | 5,81 Ba   | 5,03 Bb  | 8,54 Ba  | 8,78 Ba  | 4,79 Bb  | 5,73 Aa  |
| MGS C. Pioneira  | 5,04 Ca   | 5,44 Ba  | 8,66 Ba  | 9,02 Ba  | 3,44 Db  | 5,94 Aa  |
| Topázio MG 1190  | 4,16 Ca   | 4,77 Ba  | 6,24 Db  | 7,65 Ca  | 3,17 Db  | 4,73 Ba  |
| H514-7-8-2       | 4,03 Ca   | 3,99 Ba  | 7,05 Da  | 6,00 Db  | 3,00 Da  | 2,80 Ca  |
| Catiguá MG2      | 6,37 Ba   | 6,60 Aa  | 9,07 Ba  | 9,44 Aa  | 5,45 Aa  | 5,58 Aa  |
| Catuai IAC 62    | 4,79 Ca   | 5,26 Ba  | 8,87 Ba  | 8,72 Ba  | 3,54 Db  | 5,49 Aa  |
| H-29-1-8-5       | 4,26 Ca   | 4,63 Ba  | 6,96 Da  | 7,91 Ca  | 3,81 Cb  | 4,86 Ba  |
| IAC 125 RN       | 8,06 Aa   | 6,57 Ab  | 10,52 Aa | 10,19 Aa | 5,94 Aa  | 5,94 Aa  |
| MGS Paraíso 2    | 4,62 Ca   | 5,09 Ba  | 8,10 Bb  | 9,21 Ba  | 4,19 Ca  | 4,38 Ba  |
| Paraíso MG H 419 | 4,83 Ca   | 4,64 Ba  | 7,85 Ca  | 7,88 Ca  | 4,32 Ca  | 4,87 Ba  |
| Pau Brasil MG1   | 6,28 Bb   | 7,13 Aa  | 8,36 Bb  | 9,70 Aa  | 5,89 Aa  | 6,09 Aa  |

|                    | Correlações |       |                         |                         |          |       |                         |                         |                         |       |                         |      |
|--------------------|-------------|-------|-------------------------|-------------------------|----------|-------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------|-------------------------|------|
|                    | FD cereja   |       |                         |                         | FD verde |       |                         |                         | FD média                |       |                         |      |
|                    | 1ºSafra     |       | 2ºSafra                 |                         | 1ºSafra  |       | 2ºSafra                 |                         | 1ºSafra                 |       | 2ºSafra                 |      |
|                    | Man         | Mec   | Man                     | Mec                     | Man      | Mec   | Man                     | Mec                     | Man                     | Mec   | Man                     | Mec  |
| Desfolha           | 0,03        | -0,12 | -0,20                   | 0,35                    | -0,01    | 0,23  | -0,26                   | 0,35                    | -0,07                   | -0,31 | 0,05                    | 0,35 |
| Ramos quebrados    | 0,35        | 0,31  | <b>0,42<sup>a</sup></b> | <b>0,66<sup>a</sup></b> | 0,15     | 0,43  | <b>0,56<sup>a</sup></b> | <b>0,74<sup>a</sup></b> | <b>0,49<sup>a</sup></b> | 0,45  | <b>0,42<sup>a</sup></b> | 0,22 |
| Nº Ramos quebrados | 0,23        | -0,05 | 0,27                    | <b>0,65<sup>a</sup></b> | 0,03     | -0,30 | 0,26                    | <b>0,73<sup>a</sup></b> | 0,22                    | 0,17  | <b>0,37<sup>a</sup></b> | 0,40 |
| Danos Totais       | 0,21        | -0,04 | 0,10                    | 0,54                    | 0,07     | 0,30  | 0,14                    | <b>0,65<sup>a</sup></b> | 0,22                    | -0,07 | <b>0,32<sup>a</sup></b> | 0,18 |

Legenda: <sup>ns</sup>, <sup>\*\*</sup> e <sup>\*</sup>, não significativo, significativo a 1 e 5% de probabilidade respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas por letras iguais, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste F e Scott-Knott respectivamente, a 5% de probabilidade. <sup>a</sup> correlações significativas pelo teste t a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2024).

Quando se compara a força de desprendimento dos frutos cereja entre as duas safras avaliadas observa-se que houve diferença significativa somente quando se compara a cultivar MGS Ametista, IAC 125 RN e Pau Brasil MG1. Para a força de desprendimento dos frutos verdes, as cultivares Topázio MG 1190, MGS Paraíso 2, Pau Brasil MG1 e a progênie H514-7-8-2 obtiveram valores distintos entre a primeira e segunda safra.

As cultivares Catiguá MG2, IAC 125 RN e Pau Brasil MG1 estiveram em ambas as safras entre os grupos com maiores valores de força de desprendimento de frutos cerejas, verdes e FD média dos frutos (Tabela 13). Em contraste a este resultado, a progênie H514-7-8-2 obteve as menores forças de desprendimento dos frutos cereja, verdes e FD média dos frutos em ambas as safras.

Para o índice FD média dos frutos houve uma tendência de maiores valores para a colheita da segunda safra, apesar de algumas cultivares não mostrarem diferença estatística. Esta tendência de maiores valores para a FD média dos frutos na segunda safra deve-se principalmente a maior quantidade de frutos verdes no momento da colheita desta safra, já que a porcentagem de frutos verdes é um dos fatores para o cálculo do índice FD média dos frutos.

Houve correlação significativa e positiva da força de desprendimento dos frutos cerejas e verdes com a massa de ramos quebrados e número de ramos quebrados no sistema mecanizado durante a colheita da segunda safra (Tabela 13). Para a força de desprendimento dos frutos verdes também houve correlação nesta safra com os danos totais.

No sistema manual também houve correlação da força de desprendimento dos frutos cerejas e verdes com a massa de ramos quebrados na colheita da segunda safra. Neste sistema de colheita houve também correlação significativa do índice FD média dos frutos com a massa de ramos quebrados na colheita de ambas as safras, e correlação com o número de ramos plagiotrópicos quebrados e danos totais na colheita da segunda safra.

## 4 DISCUSSÃO

### 4.1 Danos causados nas cultivares pelos sistemas de colheita

A interação entre os fatores sistemas de colheita e as cultivares para todas as variáveis de danos mostraram que a avaliação em sistema de colheita manual e mecanizado deve considerar as diferenças genotípicas entre os indivíduos. Assim, a hipótese deste trabalho, de que as diferenças morfológicas das plantas de cada cultivar influenciariam nos danos oriundos da colheita manual e mecanizada foi confirmada. Além disso, o presente estudo avalia cultivares que recentemente estão sendo adotados pelos produtores na renovação ou formação das lavouras (Botelho *et al.*, 2021; 2023). Os estudos já publicados, em sua maioria, utilizam como base a avaliação de cultivares tradicionais como Mundo Novo (Silva *et al.*, 2003; Silva *et al.*, 2006; Oliveira *et al.*, 2007) e cultivares do grupo Catuaí (Souza *et al.*, 2006; Silva *et al.*, 2010; Santinato *et al.*, 2015; Bordin *et al.*, 2019; Tavares *et al.*, 2019; Santinato *et al.*, 2019).

Na primeira safra os resultados mostraram que o sistema de colheita mecanizado foi mais prejudicial às plantas para a maioria das cultivares considerando os valores de desfolha, número de ramos plagiotrópicos quebrados e danos totais. Apesar disto, algumas cultivares divergem deste resultado, mostrando maiores valores de danos para o sistema de colheita manual, o que caracteriza a interação das cultivares com o método de colheita para os danos causados às plantas. Bordin *et al.* (2019) comparando a colheita manual e mecanizada de primeira safra também observaram que a colheita mecanizada foi mais prejudicial as plantas quebrando maior massa de ramos plagiotrópicos.

Diferente da primeira safra, na colheita da segunda safra não houve uma tendência de um sistema de colheita ser mais prejudicial as plantas. Nesta safra os resultados mostraram que os sistemas de colheita foram semelhantes para os danos causados às plantas por desfolha, massa de ramos quebrados e danos totais para a maioria das cultivares. Oliveira *et al.* (2007) avaliando os danos causados pela colheita manual e mecanizada para a cultivar Mundo Novo também não identificaram diferença significativa entre os métodos de colheita considerando uma única passada da colhedora sobre as plantas.

Considerando as duas safras avaliadas, pode-se observar que a maior interação, e que mostra a divergência de desempenho entre os sistemas de colheita, pode ser observada para a cultivar MGS Ametista. No sistema de colheita manual esta cultivar esteve entre as cultivares com os maiores níveis de desfolha, massa de ramos quebrados, número de plagiotrópicos

quebrados e danos totais. Quando a análise é realizada para o sistema de colheita mecanizado, esta mesma cultivar não esteve entre as cultivares com os maiores níveis de danos para nenhuma das variáveis estudadas.

Juntamente com a cultivar MGS Ametista, outra cultivar que se destacou na colheita mecanizada por não obter em nenhuma das variáveis os maiores níveis de danos foi a cultivar Paraíso MG H419-1. O desempenho destas cultivares indica uma adaptação ao sistema de colheita mecanizada quando analisa-se os danos causados pela colhedora às plantas. Esta informação pode trazer um resultado prático para os produtores de café, dando base para formar a estratégia de colheita considerando as individualidades de cada cultivar. Por exemplo, como estas cultivares sofrem menores danos em comparação as demais cultivares na colheita mecanizada, pode haver possibilidade de aumento do nível de agressividade da colhedora em uma condição em que os níveis de eficiência de derriça dos frutos não estejam satisfatórios.

Os resultados de danos totais puderam ser verificados no presente estudo considerando os valores em g planta<sup>-1</sup> e também a representação destes valores em porcentagem do tecido vegetal de cada cultivar. Avaliar os danos totais considerando a porcentagem do tecido vegetal possibilitou diferenciar as cultivares com maior precisão. Como exemplo, quando as cultivares foram observados considerando os danos totais em valores absolutos (g planta<sup>-1</sup>) a cultivar Pau Brasil MG1 esteve entre os maiores valores de danos totais na colheita manual da segunda safra e a progênie H514-7-8-2 entre os menores valores. No entanto, quando os danos totais foram observados considerando a porcentagem da massa vegetal a cultivar Pau Brasil MG1 esteve entre os menores valores e a progênie H514-7-8-2 entre os maiores valores de danos totais. Além disso, quando os danos são observados em valores absolutos verificou-se que os danos totais causados na segunda safra aumentaram na média das cultivares, em relação a primeira safra, 2,4 vezes no sistema de colheita manual e 1,5 vezes para o sistema de colheita mecanizado. Quando os danos foram observados em porcentagem do tecido vegetal verificou-se que os danos aumentam da primeira para a segunda safra 4 vezes para o sistema de colheita manual e 2,4 vezes para o sistema de colheita mecanizado. Isto ocorre devido a capacidade de formação de massa vegetativa, que é diferente entre as cultivares de café, mesmo sendo pertencentes a mesma espécie (Filla *et al.*, 2023).

## **4.2 Caracterização das cultivares e correlação com os danos da colheita**

O presente estudo buscou determinar também as características morfológicas das cultivares que explicassem os resultados dos danos causados por cada sistema de colheita. Na

colheita manual foi evidenciada correlação da altura das plantas com os danos causados na colheita da segunda safra. Souza *et al.* (2006) também observaram que a colheita manual em plantas com maiores alturas ocasionava maiores danos, e atribuíram isto ao fato de que em plantas com maior altura os trabalhadores precisam puxar os ramos plagiotrópicos e curvá-los, aumentando a possibilidade de quebra.

Outra observação importante em relação à altura das plantas no estudo é que esta variável influenciou os danos causados às plantas somente na colheita manual da segunda safra. Não houve correlação da altura das plantas e os danos causadas na colheita da primeira safra, indicando que a amplitude mínima e máxima de altura das plantas registrada entre as cultivares para esta safra não foi um fator relevante para explicar os danos causados às plantas. Porém, com o crescimento das plantas de uma safra para a outra, o intervalo entre a amplitude mínima e máxima de altura das plantas (156 a 182 cm) encontradas entre as cultivares na segunda safra passou a ser um fator significativo para explicar os danos causados às plantas. As cultivares MGS Ametista, Catuaí Amarelo IAC 62 e Pau Brasil MG1 foram cultivares que atingiram na colheita da segunda safra altura de plantas acima de 180 cm, o que influenciou a colheita manual e resultou, em conjunto com outros fatores em maior desfolha e número de plagiotrópicos primários quebrados.

Além do maior dano causado as plantas devido à altura é importante ressaltar que plantas com alturas elevadas pode interferir no rendimento do trabalho de colheita pela necessidade de usar escadas ou outros equipamentos. Assim, cultivares que proporcionalmente aumentam mais rapidamente a altura de plantas podem atingir primeiro os níveis em que esta variável interfira nos danos causados às plantas, necessitando assim podas mais constantes para manutenção da altura adequada (Gokavi *et al.*, 2021).

A maturação dos frutos também se mostrou uma característica importante para a colheita manual considerando os danos causados as cultivares. Na primeira safra no sistema de colheita manual houve correlação significativa entre a porcentagem de frutos cerejas e secos com a massa de ramos quebrados. Os frutos secos demandam que os trabalhadores apliquem uma menor força nos ramos plagiotrópicos para que sejam derriçados em comparação aos frutos cerejas, o que diminui a possibilidade de danos em plantas com alta porcentagem de frutos secos em relação a porcentagem de frutos cerejas. Nesta safra, a porcentagem de frutos verdes nas plantas influenciou os danos totais na colheita manual das plantas. A correlação indicou que quanto maior a porcentagem de frutos verdes nas plantas, maior foram os danos totais causados. Silva *et al.* (2006) também observaram que a maior porcentagem de frutos verdes nas plantas causou maior desfolha pelo método de colheita manual. Isto deve-se a maior dificuldade

dos trabalhadores em colher plantas com maior quantidade de frutos verdes, exigindo que haja aplicação de maior esforço e consequentemente maior possibilidade de causar danos às plantas.

A desfolha, quebra de ramos e danos totais na colheita manual correlacionou-se positivamente com a produtividade das cultivares. As cultivares com maiores produtividades sofreram também maiores danos causados pelos trabalhadores neste sistema de colheita. Esta correlação da produtividade com os danos causados às plantas não foi observada quando o sistema de colheita realizado foi o mecanizado. Neste sistema de colheita foi observado apenas uma correlação negativa com a desfolha das plantas na primeira safra, indicando que quanto maior foi a produtividade, menor foi a desfolha. Este resultado deve-se ao desempenho das cultivares MGS Ametista, MGS Paraíso 2, Paraíso MG H 419-1 e Pau Brasil MG1 que estão entre as cultivares com maiores produtividades na primeira safra e simultaneamente menores níveis de desfolha no sistema de colheita mecanizado. Um fator relevante a ser mencionado é que estas cultivares possuem resistência a ferrugem, o que no sistema de colheita mecanizado pode ser uma vantagem, já que a doença pode causar um estímulo para a desfolha em plantas susceptíveis (Talhinhas *et al.*, 2017).

Avaliando a desfolha para a cultivar Acaiá Cerrado, Silva *et al.* (2006) evidenciaram que quanto maior a produtividade na planta, maior foi a desfolha causada pelo método de colheita manual. Um trabalho realizado por Silva *et al.* (2010a) estudando os efeitos dos danos causados a cultivar Catuaí Vermelho IAC 99 pela colheita manual também constataram que lavouras com maior produtividade estavam também correlacionadas ao maior dano por desfolha na colheita manual durante três safras consecutivas. Estes autores observaram uma redução da produtividade de café na lavoura no ano subsequente em função do dano físico causado pela desfolha na derriça manual dos frutos de café.

A produtividade das cultivares também é um fator importante considerando o método de colheita mecanizado. De acordo com Androcioli Filho *et al.* (2009) a baixa produtividade aumenta o custo da colheita mecânica proporcional à colheita manual tendo em vista que o custo é por hora trabalhada. Assim, cultivares com baixas produtividades podem não trazer ao produtor o benefício do menor custo da colheita mecanizada em relação a colheita manual.

A força de desprendimento dos frutos também foi uma característica importante para explicar os danos causados às plantas. As correlações indicaram que cultivares com maiores forças de desprendimento dos frutos obtiveram também maiores danos às plantas em ambos os sistemas de colheita. A força de desprendimento dos frutos é uma característica das plantas de café normalmente avaliada em sistemas de colheita mecanizada (Santin *et al.*, 2023; Godinho *et al.*, 2022; Ferreira Júnior *et al.*, 2018; Figueiredo *et al.*, 2017). O presente estudo demonstra

que, além disto, a força de desprendimento dos frutos é uma variável também importante quando se avalia os danos causados nas plantas tanto pela colheita manual quanto mecanizada. Cultivares com frutos aderidos à planta com maior intensidade é necessário que os colhedores apliquem maior força para que estes frutos sejam colhidos, o que proporcionalmente aumenta a possibilidade de maior massa de ramos plagiotrópicos quebrados.

Mesmo na colheita mecanizada, a força de desprendimento dos frutos é uma variável constantemente avaliada e considerada como um indicativo para a operação de derriça dos frutos (Silva *et al.*, 2010b; Silva *et al.*, 2013; Barros *et al.*, 2018). O presente estudo demonstra que a força de desprendimento dos frutos é uma variável também importante quando se analisa os danos causados pela colhedora. A correlação entre a força de desprendimento dos frutos e os danos causados pela colhedora indicou que cultivares que possuem frutos que necessitam maior força para o desprendimento obtiveram também maiores danos.

É observado que as características morfológicas das cultivares se correlacionaram mais frequentemente com os danos causados no sistema de colheita manual, e pouca correlação ocorreu com os danos causados no sistema de colheita mecanizado. Na colheita manual, a altura e a quantidade de frutos verdes e outras características influenciaram diretamente o esforço aplicado pelos trabalhadores na derriça dos frutos e promoveram maiores ou menores danos às plantas. Na colheita mecanizada, a utilização de colhedoras possibilita uma mesma regulação da máquina, e assim, independente da altura, produtividade, vigor das plantas, número de plagiotrópicos ou outras características, a máquina funcionará de maneira uniforme, de acordo com as regulagens estabelecidas.

## 5 CONCLUSÃO

As cultivares MGS Ametista e Paraíso MG H419-1 obtiveram destaque no sistema de colheita mecanizado com os menores danos pela ação da colhedora. Em contraste, estas cultivares obtiveram maiores danos quando submetidas ao sistema de colheita manual.

Plantas com maior altura, maior porcentagem de frutos verdes e maior produtividade sofrem maiores danos pela colheita manual.

A força de desprendimento dos frutos é também uma variável importante quando se analisa os danos causados pela colheita, seja manual ou mecanizada.

Os resultados obtidos pelo presente estudo são importantes para a escolha da cultivar considerando o sistema de colheita utilizado.

## REFERÊNCIAS

- ANDROCIOLO FILHO, Armando *et al.* Avaliação da colheita mecanizada do café no paraná e propostas para melhoria de métodos e processos. *In: SIMPOSIO DE PESQUISA DOS CAFES DO BRASIL*, 6., 2009, Vitoria. **Anais [...]** Brasília: Embrapa Café, 2009.
- BARROS, Murilo Machado de *et al.* Use of classifier to determine coffee harvest time by detachment force. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.22, n.5, p.366-370, 2018.
- BORDIN, Bárbara Cristina de Melo *et al.* Respostas produtivas de lavoura de primeira safra   colheitas manual e mecanizada. *In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL*, 10., 2019, Vitória. **Anais [...]** Vitória: Consórcio Pesquisa Café, 2019.
- BOSSO, Henrique *et al.* Green coffee: economic relevance and a systematic review of the effects on human health. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.63, n.3, p. 394-410, 2023.
- BOTELHO, César Elias *et al.* **Recomendação de cultivares de café Arábica para a Região Sul de Minas Gerais**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2023, 48p. (Boletim Técnico n  115)
- BOTELHO, César Elias *et al.* Seleção de progênies F4 de cafeeiros obtidas do cruzamento de Icatu com Catimor. **Revista Ceres**, v. 57, n. 3, p. 274- 281, 2010.
- BOTELHO, César Elias *et al.* Recomendação de cultivares de café para a região do Cerrado. *In: CARVALHO, Gladyston Rodrigues et al. Cafeicultura do Cerrado*. Belo Horizonte: EPAMIG, 2021, p.37-66.
- CARVALHO, Gladyston Rodrigues *et al.* **Cafeicultura do Cerrado**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2021.
- CRUZ, Cosme Damião. Programa Genes - Ampliado e integrado aos aplicativos R, Matlab e Selegen. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.38, n.4, p.547 552, 2016.
- DANTAS, Antonio Augusto Aguilar; CARVALHO, Luiz Gonsaga de; FERREIRA, Elizabeth. Classificação e tendências climáticas em Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, n.6, p.1.862-1.866, 2007.
- DAVIS, Aaron P. *et al.* Lost and Found: *Coffea stenophylla* and *C. affinis*, the Forgotten Coffee Crop Species of West Africa. **Frontiers in Plant Science**, v.11, 616, 2020.
- FERNANDES, André Luís Teixeira *et al.* A moderna cafeicultura dos cerrados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.42, n.2, p.231-240, 2012.
- FERREIRA JÚNIOR, Luiz de Gonzaga *et al.* Characterization of the coffee fruit detachment force in crop subjected to mechanized harvesting. **Coffee Science**, v. 13, n. 1, p. 71 79, 2018.
- FIGUEIREDO, Vanessa Castro *et al.* Analysis of spatial variability of force detachment of coffee fruits in central pivot. **Coffee Science**, v. 12, n. 2, p. 231 239, 2017.

FILLA, Vinícius Augusto *et al.* Initial vegetative development and early selection of arabica coffee cultivars in a low-altitude region. **Bragantia**, v.82, e20230098, 2023.

FURRIEL, Geovanne P. *et al.* Acoustics applied in the development of equipment for precision agriculture: Coffee handling and harvesting. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.198, p.106981, 2022.

GODINHO, João de Deus *et al.* The best moment to carry out the selective harvest of coffee fruits. **Agronomy Journal**, v.114, n.6, p.3297-3305, 2022.

GOKAVI, Nagaraj *et al.* The effect of modified pruning and planting systems on growth, yield, labour use efficiency and economics of Arabica coffee. **Scientia Horticulturae**, v.276, 109761, 2021.

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION. **Coffee Market Report**. Disponível em: <https://www.icocoffee.org/documents/cy2023-24/cmr-1023-e.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2023.

KAZAMA, Elizabeth Haruna *et al.* Methodology for selective coffee harvesting in management zones of yield and maturation. **Precision Agriculture**, v.22, p.711-733, 2021.

LE, Quan Vu *et al.* Understanding the Perceptions of Sustainable Coffee Production: A Case Study of the K'Ho Ethnic Minority in a Small Village in Lâm Đồng Province of Vietnam. **Sustainability**, v.12, n.3, 1010, 2020.

OLIVEIRA, Ezequiel *et al.* Influência da vibração das hastes e da velocidade de deslocamento da colhedora no processo de colheita mecanizada do café. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.3, p.714-721, 2007.

OLIVEIRA, Ezequiel *et al.* Influência da colheita mecanizada na produção cafeeira. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.5, p.1466-1470, set-out, 2007a.

SANTIN, Mateus Rollemberg *et al.* Maturation and detachment force for mechanized harvesting of irrigated Conilon coffee in the Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.58, e02967, 2023.

SANTINATO, Felipe *et al.* Morphological and productive influence of harvest on coffee plants. **Australian Journal of Crop Science**, v.13, n.1, p.144-150, 2019b.

SANTINATO, Felipe *et al.* Análise econômica da colheita mecanizada do café utilizando repetidas operações da colhedora. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 3, p. 402 - 411, 2015b.

SANTINATO, Felipe *et al.* Operational cost of mechanized harvesting of first-crop coffee. **Australian Journal of Crop Science**, v.13, n.9, p.1503-1510, 2019a.

SANTINATO, Felipe *et al.* Colheita mecanizada do café em lavouras de primeira safra. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 12, p. 1215-1219, 2015a.

SILVA, Flávio Castro *et al.* Comportamento da força de desprendimento dos frutos de cafeeiros ao longo do período de colheita. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, p.468-474. 2010b.

SILVA, Flávio Castro *et al.* Operacional performance of mechanically harvested coffee and selectivity in accordance to force detachment of fruit. **Coffee Science**, v.8, n.1, p.49-55, 2013.

SILVA, Fábio Moreira *et al.* Operational and economic performance of coffee harvest using lateral harvesters. **Coffee Science**, v.1, n.2, p.119-125, 2006.

SILVA, Fábio Moreira *et al.* Efeitos da colheita manual na bienalidade do cafeeiro em Ijaci, MINAS GERAIS. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 625-632, maio/jun., 2010a.

SILVA, Fábio Moreira *et al.* Avaliação da colheita do café totalmente mecanizada. **Engenharia Agrícola**, v.23, p.309-315, 2003.

SOTT, Michele Kremer *et al.* Precision Techniques and Agriculture 4.0 Technologies to Promote Sustainability in the Coffee Sector: State of the Art, Challenges and Future Trends. **IEEE Access**, v.8, p.149854- 149867, 2020.

SOUZA, Cristiano Márcio Alves de *et al.* Comparação entre derriça manual e mecânica de frutos de cafeeiro. **Revista Ceres**, v.53, n.305, p.39-43, 2006.

TALHINHAS, Pedro *et al.* The coffee leaf rust pathogen *Hemileia vastatrix*: one and a half centuries around the tropics. **Molecular Plant Pathology**, v.18, n.8, p.1039-1051, 2017.

TAVARES, Tiago de Oliveira *et al.* The times, movements and operational efficiency of mechanized coffee harvesting in sloped areas. **PLOS ONE**, v.14, n.5, e0217286, 2019.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos realizados no trabalho trouxeram resultados importantes para serem utilizados no setor produtivo. O primeiro estudo mostrou que analisar o crescimento dos frutos em dias após a florada dividindo-os em duas partes, casca e grãos, possibilita entender em quais períodos o acúmulo de massa seca dos frutos é representado por uma ou outra parte. Mostrou que o maior acúmulo de massa seca nos frutos ocorre anteriormente ao maior acúmulo de massa seca nos grãos, e isto ocorre porque a casca se torna um dreno principal dos frutos nos estádios finais de desenvolvimento. Foi possível também estimar para cada cultivar os períodos importantes em relação ao acúmulo de massa seca, como o momento em que se inicia os ganhos significativos e o momento em que ocorre uma estabilização no crescimento. Estes indicadores podem servir como base para o manejo da lavoura, já que caracteriza os períodos de maior demanda das plantas de cada cultivar.

O segundo e o terceiro estudo mostraram que existe uma variabilidade entre as cultivares de café considerando os aspectos relacionados as variáveis de colheita dos frutos. Com os resultados obtidos, algumas cultivares puderam ser destacadas como mais adaptadas para o sistema de colheita mecanizado considerando tanto a eficiência de colheita e a desfolha das plantas. Além disso, a comparação do sistema de colheita mecanizado com o manual mostrou que também existe variabilidade entre as cultivares para os danos causados nas plantas. Algumas cultivares obtiveram os menores danos pela colheita quando analisadas no sistema de colheita mecanizado e os maiores danos quando analisadas no sistema de colheita manual, mostrando que ao escolher uma cultivar deve-se observar a qual sistema de colheita ela será submetida.