

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**A LUZ SOLAR E A AGRESSIVIDADE DA COLHEITA DE  
CAFÉ AFETAM A QUALIDADE DA OPERAÇÃO?**

**Bruno Rocca de Oliveira  
Engenheiro Agrônomo**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**A LUZ SOLAR E A AGRESSIVIDADE DA COLHEITA DE  
CAFÉ AFETAM A QUALIDADE DA OPERAÇÃO?**

**Bruno Rocca de Oliveira**

**Orientador: Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva**

**Coorientador: Dr. Tiago de Oliveira Tavares**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

O48l

Oliveira, Bruno Rocca de

A luz solar e a agressividade da colheita de café afetam a qualidade da operação? / Bruno Rocca de Oliveira. -- Jaboticabal, 2021

51 p. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Rouverson Pereira da Silva

Coorientador: Tiago de Oliveira Tavares

1. Cafeicultura. 2. Exposição de plantas. 3. Mecanização agrícola. 4. Controle estatístico de processos. 5. Colheita seletiva. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

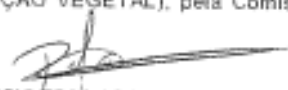
**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO:** A LUZ SOLAR E A AGRESSIVIDADE DA COLHEITA DE CAFÉ AFETAM A QUALIDADE DA OPERAÇÃO?

**AUTOR:** BRUNO ROCCA DE OLIVEIRA

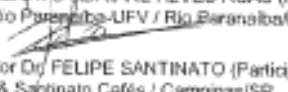
**ORIENTADOR:** ROUVÉRSO PEREIRA DA SILVA

**COORDENADOR:** TIAGO DE OLIVEIRA TAVARES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. ROUVÉRSO PEREIRA DA SILVA (Participação Virtual)  
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas (DECEX) / FCAV / UNESP - Jaboticabal

  
Prof. Dr. RENATO ADRIANE ALVES RUAS (Participação Virtual)  
Campus Rio Preto - UFV / Rio Barão/MS

  
Pesquisador Dr. FELIPE SANTINATO (Participação Virtual)  
Santinato & Santinato Café / Campinas/SP

Jaboticabal, 26 de março de 2021

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**BRUNO ROCCA DE OLIVEIRA** – filho de José Luis Picollo de Oliveira e Ana Carolina Tessari Rocca de Oliveira, nasceu em Guariba no dia 24 de julho de 1996, município localizado no interior do Estado de São Paulo. Coursou ensino fundamental e médio no Colégio Dom Bosco - COC, no período entre 2007 e 2013. Em 2008 passou a ser membro do Demolay, grupo filantrópico e filosófico o qual participou até atingir a maioridade no ano de 2016. Em 2014 iniciou o curso de graduação em Agronomia na Faculdade Doutor Francisco Maeda - FAFRAM. Durante o curso foi membro do Diretório Acadêmico e da Agromais Assessoria & Consultoria Júnior, onde realizou cursos, palestras e dias de campo em parceria com empresas do setor. No ano de 2015 iniciou o acompanhamento aos trabalhos e projetos do Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola – LAMMA, participando de eventos nacionais e internacionais e passando a ser colaborador em pesquisas de campo relacionadas ao controle de qualidade de operações agrícolas mecanizadas, tema este explorado pelo autor na cultura do café para redigir seu trabalho de conclusão de curso. Obteve o título de Engenheiro Agrônomo no ano de 2018, ingressando no ano seguinte no Programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal) na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias Campus Jaboticabal – UNESP/FCAV, com bolsa de estudos concedida pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) sob orientação do Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva e coorientação do Dr. Tiago de Oliveira Tavares, participando de projetos relacionados a sistemas mecanizados de colheita e monitoramento da qualidade em operações agrícolas. Durante o período de aperfeiçoamento ministrou palestras e disciplinas, além de publicar artigos técnicos e científicos. Em março de 2021, submeteu-se à banca examinadora para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

*“O futuro pertence àqueles que acreditam na beleza de seus sonhos”*

**Eleanor Roosevelt**

Dedico esta obra a todos meus familiares, namorada e amigos.

**DEDICO**

Ofereço a todos agricultores que dia após dia semeiam a esperança de um futuro melhor.

Em especial aos cafeicultores, nosso trabalho é facilitar o de vocês!

**OFEREÇO**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente ao grande arquiteto do universo – Deus – por guiar meus passos e minhas escolhas. O impossível não existe.

Ao meu orientador Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva, por contribuir imensamente com meu crescimento profissional e pessoal. Mais do que uma orientação levo comigo a certeza de uma grande amizade e gratidão por todos os ensinamentos, sem hora e nem lugar. Orientar é um dom que o senhor exerce com maestria, e eu me espelho e me sinto honrado em pertencer a este grupo.

Ao meu coorientador e grande amigo Dr. Tiago de Oliveira Tavares, responsável por despertar a paixão pelo café, presente em mim desde a infância. Agradeço pela colaboração que, com toda calma e conhecimento, me mostrou o quão forte é o trabalho em equipe e nossa capacidade para alcançar os objetivos. Este não foi o primeiro e com certeza não será o último desta eterna parceria.

A Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal – UNESP/FCAV pela oportunidade de poder aprimorar meus conhecimentos em uma instituição de alto nível, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal).

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

A todo o Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola (LAMMA) o qual posso considerar como um pilar fundamental para minha formação e crescimento na área, em especial as amizades construídas nele.

A Fazenda Gaúcha, meus sinceros agradecimentos por sempre apoiar nossas pesquisas cafeeiras durante estes seis anos, em especial à Vanilda e Nelson por todo afeto criado, carinho, receptividade e disponibilidade de sempre, além de todos da fazenda que sempre contribuíram com nossos trabalhos.

Os amigos e membros da equipe RSRG (Rouverson Silva Research Group) em especial João Godinho e Jarlyson pelo auxílio durante as atividades de campo, além de Gustavo, Cristiano, Natália e Álvaro que também integraram a equipe de avaliações.



Aos meus pais José Luis e Ana Carolina, minhas irmãs Luisa e Ana Beatriz, e minha namorada Julia, por todo apoio, compreensão e por nunca medirem esforços para que eu chegasse até aqui; por meio deles estendo os agradecimentos a toda minha família, os quais levo comigo na memória e no coração todos os dias sendo o combustível que alimenta minha ânsia de vencer.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para tornar este momento possível, muito obrigado a todos!!

## SUMÁRIO

|                                                              | Página     |
|--------------------------------------------------------------|------------|
| <b>RESUMO .....</b>                                          | <b>ii</b>  |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                        | <b>iii</b> |
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>                                   | <b>1</b>   |
| <b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>                        | <b>3</b>   |
| <b>2.1. A cultura do café .....</b>                          | <b>3</b>   |
| <b>2.2. Cafeicultura mecanizada .....</b>                    | <b>4</b>   |
| <b>2.3. Colheita de café .....</b>                           | <b>5</b>   |
| <b>2.4. Exposição de plantas .....</b>                       | <b>7</b>   |
| <b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>                            | <b>10</b>  |
| <b>3.1. Área experimental .....</b>                          | <b>10</b>  |
| <b>3.2. Exposição do cafeeiro à incidência solar .....</b>   | <b>10</b>  |
| <b>3.3. Caracterização da área .....</b>                     | <b>11</b>  |
| <b>3.4. Adequação da colhedora.....</b>                      | <b>13</b>  |
| <b>3.5. Exposição do cafeeiro à colheita mecanizada.....</b> | <b>16</b>  |
| <b>3.6. Indicadores de qualidade de colheita.....</b>        | <b>17</b>  |
| <b>3.6.1. Eficiência de derriça.....</b>                     | <b>17</b>  |
| <b>3.6.2. Índice de maturação do café remanescente .....</b> | <b>18</b>  |
| <b>3.6.3. Perdas e Danos às plantas .....</b>                | <b>18</b>  |
| <b>3.7. Análise estatística dos dados .....</b>              | <b>19</b>  |
| <b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                       | <b>20</b>  |
| <b>5. CONCLUSÕES .....</b>                                   | <b>28</b>  |
| <b>6. REFERÊNCIAS.....</b>                                   | <b>29</b>  |

## **A luz solar e a agressividade da colheita de café afetam a qualidade da operação?**

### **RESUMO**

O café é uma das principais commodities do agronegócio mundial e, assim como toda a agricultura, está em constante evolução. A utilização de máquinas para colheita dos frutos passou a ser uma técnica comum entre os produtores que visam reduzir custos, alavancar eficiências de campo e melhorar a qualidade do produto final. Entretanto, a exposição da planta à luz solar e à ação da colhedora podem interferir na qualidade do processo de colheita. Objetivou-se analisar a colheita mecanizada de café em função da incidência solar e da exposição da planta à ação da colhedora, utilizando indicadores operacionais de qualidade, a fim de identificar regulagens menos agressivas da máquina, que permitam melhores condições de derriça e menores impactos às plantas. Os indicadores de qualidade avaliados foram a força de desprendimento dos frutos, eficiência de derriça, índice de maturação dos frutos remanescentes, perdas e danos causados pela colheita. Os dados foram coletados seguindo as premissas do controle estatístico de processos e submetidos à análise de qualidade e variabilidade por meio das ferramentas “boxplot”, cartas de controle de valores individuais e “runcharts”. Os resultados indicam que a face exposta das plantas se adequa melhor à realização da colheita mecanizada seletiva. A redução da velocidade de deslocamento contribui mais que o aumento da vibração das hastes com a eficiência de derriça. O aumento da agressividade de colheita, eleva os níveis de perdas e danos às plantas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cafeicultura, colheita seletiva, exposição de plantas, mecanização agrícola, controle estatístico de processos.

## **DO THE SUNLIGHT AND AGGRESSIVENESS OF COFFEE HARVEST CAN AFFECT THE QUALITY OPERATION?**

### **ABSTRACT**

Coffee is one of the main commodities in world agribusiness and, like all agriculture, is constantly evolving. The use of fruit harvesting machines has become a common technique among producers who aim to reduce costs, leverage field efficiencies and improve the quality of the final product. However, the plant's exposure to sunlight and harvester's action can interfere in the quality of harvesting process. The objective of this study was to analyze the mechanized coffee harvesting according to the solar incidence and the plant exposure to the action of the harvester, using operational quality indicators, in order to identify less aggressive adjustments of the machine, which allow better harvest conditions and less impacts to plants. The quality indicators evaluated were the strength of the fruits' detachment, shedding efficiency, maturity index of the remaining fruits, losses and damages caused by the harvest. The data were collected following the premises of statistical process control and submitted to quality and variability analysis using the "boxplot" tools, individual value control charts and "runcharts". The results indicate that the exposed face of the plants is better suited to carry out selective mechanized harvesting. The reduction of the displacement speed contributes more than the increase of the vibration of the rods with the efficiency of stripping. The increase in harvesting aggressiveness increases the levels of losses and damages to plants.

**KEYWORDS:** Coffee growing, selective harvest, plant exposure, agricultural mechanization, statistical process control.

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                           | Página |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| <b>Tabela 1.</b> Média de produtividade de café (kg de café beneficiado ha <sup>-1</sup> ) por face de exposição e terço da planta.....                                                   | 12     |
| <b>Tabela 2.</b> Velocidades de deslocamento, rotações das hastes vibratórias, tempos de exposição da planta à ação da colhedora e grau de agressividade das regulagens da colhedora..... | 17     |
| <b>Tabela 3.</b> Média geral de eficiência de derriça de café por face de exposição e terço da planta.....                                                                                | 23     |
| <b>Tabela 4.</b> Média geral de índice de maturação do café remanescente por face de exposição e terço da planta.....                                                                     | 25     |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                           | Página |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| <b>Figura 1.</b> Linha da cultura com a face Norte exposta e face Sul sombreada (a). Posicionamento solar no dia 27/05/2020 (b). ....                                                     | 11     |
| <b>Figura 2.</b> Colhedora autopropelida da marca Jacto, modelo K3500. ....                                                                                                               | 14     |
| <b>Figura 3.</b> Mecanismo de derriça da colhedora (a). Calibração da pressão do freio dos cilindros batedores (b). ....                                                                  | 15     |
| <b>Figura 4.</b> Boxplot para força de desprendimento de frutos em face exposta (a) e face sombreada (b). ....                                                                            | 20     |
| <b>Figura 5.</b> Cartas de controle de valores individuais e padrão de comportamento dos dados de eficiência de derriça de café em face exposta (a) e face sombreada (b)...               | 21     |
| <b>Figura 6.</b> Cartas de controle de valores individuais e padrão de comportamento dos dados de índice de maturação do café remanescente em face exposta (a) e face sombreada (b). .... | 24     |
| <b>Figura 7.</b> Boxplot de perdas de café em face exposta (a) e face sombreada (b). Valores expressos em porcentagem. ....                                                               | 25     |
| <b>Figura 8.</b> Boxplot de danos à planta em face exposta (a) e face sombreada (b). Valores expressos em $\text{kg ha}^{-1}$ . ....                                                      | 27     |

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil, além de ser o maior produtor e exportador de café do mundo, contribui constantemente com a evolução do setor. Apesar de o café ser uma das principais commodities mundiais, os produtores brasileiros passaram nos últimos anos por crises mercadológicas e climáticas que afetaram consideravelmente a rentabilidade e produtividade da cultura. Estas ocorrências exigem que as unidades produtoras busquem sempre alternativas que visem à redução dos custos, sem limitar os indicadores de produção, tornando a atividade mais sustentável e menos arriscada.

A modernização da cafeicultura tem como aliadas a mecanização e a irrigação, ferramentas que possibilitaram a expansão de áreas produtivas para regiões como o Cerrado e otimização de processos, dentre eles o de colheita. A colheita manual exige grande número de trabalhadores para que possa ser equivalente à eficiência desempenhada por uma colhedora. Entretanto a seletividade dos frutos colhidos é melhor realizada manualmente devido principalmente ao discernimento de coloração dos frutos pelos trabalhadores. Fatores como o citado anteriormente estimulam as pesquisas para que as máquinas agrícolas possam suprir o trabalho humano com maior qualidade e capacidade.

A colheita de café representa um dos principais momentos do ciclo da cultura, no qual o produtor almeja obter grande retorno econômico sobre o investimento feito durante a safra, colhendo frutos que proporcionarão boa qualidade do produto final. Para que o resultado da qualidade seja positivo, é desejável que sejam colhidos somente frutos que já atingiram o grau de maturação fisiológica. A escolha de quais frutos objetiva-se derriçar em maior quantidade determina o método de colheita a ser adotado, podendo ser seletiva, quando são colhidos somente frutos cerejas e secos; ou plena, quando além dos frutos cereja e seco também são colhidos os verdes (imaturos), causando impacto direto no valor de comercialização final do produto.

A colhedora de café envolve toda a planta, realizando a derriça dos frutos por meio da vibração e impacto, destacando-os a partir do momento em que a força de inércia excede a força de ligação fruto-pedúnculo. Entretanto, forças excessivas podem causar danos às plantas como quebra de ramos e desfolha severa. A

identificação da vibração, aliada à velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado, pode possibilitar uma derriça controlada, colhendo somente os frutos desejados e evitando danos extremos à estrutura da planta. A combinação de regulagens pode determinar a exposição da planta à colhedora, tornando-se assim um importante indicador a ser analisado para a realização da operação.

Além da exposição à colhedora, a exposição da planta a luz solar também pode ser determinante da qualidade do processo. A combinação de luminosidade e temperatura pode interferir em fatores como a diferenciação de gemas, velocidade de amadurecimento dos frutos, crescimento vegetativo, incidência de doenças e infestação de pragas. Portanto o direcionamento de plantio contribui totalmente com o controle da exposição solar, sendo capaz de interferir também no comportamento da planta quando submetida a colheita. Acredita-se que a exposição solar da planta e dos frutos possa influenciar em processos metabólicos capazes de interferir na produtividade e eficiência de colheita, exigindo regulagens distintas para colheita de frutos presentes na mesma planta, mas com exposições diferentes. Em contrapartida, regulagens mais severas, as quais objetivam derriçar todos os frutos presentes na planta, podem danificá-la prejudicando safras subsequentes, exigindo assim um controle minucioso para que os objetivos sejam alcançados.

Diante disso, objetivou-se analisar a colheita mecanizada de café em função da incidência solar e da exposição da planta à ação da colhedora, utilizando indicadores operacionais de qualidade, a fim de identificar regulagens menos agressivas da máquina, que permitam melhores condições de derriça e menores impactos às plantas.



## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. A cultura do café

O cafeeiro é uma planta originária da Etiópia, país pertencente ao continente africano, e teve sua difusão pelo oriente a partir do século XVII, chegando ao Brasil no século XVIII (Rodrigues et al., 2015). Pertencente à Família Rubiaceae, o café abrange mais de 10.000 espécies. Entretanto, somente a *Coffea arábica* L. e a *Coffea canephora* possuem importância econômica. Conhecido como “a bebida que tira o sono”, o café se tornou uma das principais commodities mundiais, sendo representada em sua grande maioria por cultivares arábica (Alves, 2012).

A cafeicultura no cenário mundial apresenta grande importância econômica. O comércio dos grãos de café representa o quinto mais valioso produto primário comercializado pelo Brasil a nível mundial, acompanhado da soja, açúcar, frango e carne bovina (MAPA, 2017). Seu cultivo, processamento, comercialização, transporte e mercado proporcionam milhões de empregos em todo o mundo (CAGED, 2020), além da fixação da população na zona rural (Pozza et al., 2001).

Atualmente o Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café, sendo ainda o segundo maior consumidor (Souza et al., 2018), cultivando a cultura em aproximadamente 2 milhões de hectares por cerca de 300 mil produtores, distribuídos em 15 estados, porém, Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia, Rondônia, Paraná e Goiás, respondem por mais de 98% da produção nacional (MAPA, 2017).

A cafeicultura brasileira apresenta como forte particularidade a bienalidade de produção, característica derivada do método de cultivo a pleno Sol (Matiello et al., 2017), fazendo com que a planta possua maior frutificação em um ano e maior crescimento vegetativo no seu subsequente. Por compreender um ano de bienalidade negativa a expectativa é de que a atual produção atinja 49 milhões de sacas beneficiadas (CONAB, 2021), representando uma redução de aproximadamente 20% em comparação ao ano anterior (CONAB, 2020).

A cafeicultura do Cerrado recebe destaque na produção nacional pelo diferencial tecnológico utilizado na produção dos grãos e, as características do relevo, solo e clima da região contribuem positivamente com a adoção de técnicas de

irrigação, mecanização, adubação, entre outras práticas capazes de alavancar a produtividade das plantas (Fernandes et al., 2012).

Para garantir o sucesso em atividades agrícolas, é necessário realizar um planejamento antes da instalação da lavoura (Nardo et al., 2020). Devem-se levantar indicadores climáticos, características físico-químicas do solo, assim como adequação do cultivo ao nível tecnológico que será adotado durante o desenvolvimento e colheita da cultura (Matiello et al., 2010).

A indisponibilidade e oneração da mão de obra tem prejudicado cafeicultores obrigando-os buscarem alternativas que possibilitem reduzir custos (Santinato et al., 2019b). Desta forma, a mecanização está presente em todas as fases produtivas da cafeicultura, notadamente na colheita, fase de maior representatividade diante dos custos de produção (Lanna e Reis, 2012).

## **2.2. Cafeicultura mecanizada**

A implantação da mecanização agrícola nas diversas operações de campo é uma das grandes ferramentas que possibilitou a verticalização da produção mundial de alimentos, trazendo aos produtores inúmeros benefícios, como a redução de custos e aumento da eficiência na realização das operações (Oliveira et al., 2020). Na cafeicultura os processos mecanizados tiveram início a partir do ano de 1970 (Matiello et al., 2010), inviabilizando os processos manuais principalmente em áreas favoráveis a mecanização, como é o caso da cafeicultura de cerrado (Fernandes et al., 2012).

A mecanização está presente em todas as fases da cultura, sendo cada vez mais aprimorada por novos métodos e ferramentas de qualidade. A primeira fase, representada pela implantação da cultura na área, abrange processos de preparo de solo e transplântio das mudas nos quais a mecanização possibilitou melhor eficácia e eficiência com a utilização de ferramentas que reduzem os erros e a variabilidade dos processos (Silva et al., 2014).

A fase de tratos culturais apresenta grande avanço quanto à evolução dos métodos e mecanização, na qual os turbo-atomizadores estão dando lugar aos VANT's (Veículos Aéreos Não Tripulados) (Soela et al., 2020). A substituição do método tem viabilizado a operação até mesmo em áreas de relevo acidentado (Qin et al., 2016) como é o caso da cafeicultura de montanha, presente em larga escala na

região do sul de Minas Gerais, responsável por 50% da produção do estado, o qual é o maior produtor nacional (Lanna e Reis, 2012).

Em regiões de relevo acidentado é comum que, operações que podem ser potencializadas com o uso de tratores, sejam inviabilizadas em função da declividade acentuada. Entretanto essas regiões possuem como alternativa a implantação de microterraços (Matiello et al., 2015). Os microterraços podem ser construídos antes ou depois da implantação da cultura e ainda assim apresentar viabilidade operacional e econômica ao produtor (Alves et al., 2017).

A colheita é uma das operações mais importantes do ciclo da cultura, e quando explorada por máquinas em áreas com microterraços, apresenta enorme vantagem se comparada com os métodos manual e semi-mecanizado (Tavares et al., 2019). O mesmo autor apresentou a possibilidade de mecanização de áreas com até 50% de declividade por meio da sistematização, rompendo a barreira existente entre declividade e mecanização agrícola.

A mecanização se tornou presente também na pós colheita dos frutos. As perdas de café oriundas da colheita e de intempéries climáticas podem ultrapassar 10 sacas de café beneficiado ha<sup>-1</sup> (Santinato et al., 2015a), tornando-se pertinente o recolhimento dos frutos caídos. O recolhimento manual é um processo de alto custo e baixa capacidade operacional (Gaglianone, 2015), sendo inviabilizado e substituído também pelo método mecanizado.

### **2.3. Colheita de café**

A colheita do café acontece em duas fases: na primeira ocorre a derriça precedida pela arruação e, posteriormente o recolhimento do café contido nas plantas, enquanto que na segunda fase tem-se o recolhimento do café presente no solo, comumente chamado de “café de varrição” (Tavares et al., 2015). A queda do café no solo pode acontecer por vários motivos, tais como: variedades com maior facilidade de desprendimento dos frutos, estágio avançado de maturação dos frutos (Silva et al., 2010a), incidência de pragas e doenças, pluviosidade (Silva et al., 2017), ou ainda, pela própria ação da colheita mecanizada (Santinato et al., 2015a).

Na colheita mecanizada do café da planta a colhedora opera a cavaleiro, ou seja, sobre a linha de café envolvendo as plantas por dois cilindros, providos de hastes

derriçadoras que, por meio da força de impacto e vibração (Sales, 2011), derriçam os frutos no momento em que a força empregada pela máquina ultrapassa a força de ligação entre o fruto e o pedúnculo (Tombesi et al., 2017). Os frutos destacados caem no interior da colhedora, sendo carregados e separados das impurezas pela esteira recolhadora e exaustores, seguindo para o sistema de armazenamento (Tavares, 2016).

Poucas são as alterações conceituais realizadas nas colhedoras de café (Tavares, 2016), mas isto não tem impossibilitado a evolução e melhoria da qualidade do processo. A operação tem sido objetivo de estudos na cafeicultura moderna, com base em ajustes técnicos e regulagens em função de condições da máquina (Sales, 2011; Santinato et al., 2016) e da planta (Silva, 2008) visando melhorias de eficiência e qualidade.

A eficiência das colhedoras é altamente afetada pelas condições da lavoura, assim como pelas regulagens da máquina. A ocorrência de floradas dispersas durante o ciclo da planta ocasionam desuniformidade de maturação dos frutos na época de colheita (Custódio et al., 2013), sendo este um dos principais fatores limitantes da qualidade e eficiência.

A uniformidade de maturação é uma característica desejável pelos produtores e que facilita a escolha do momento ideal para realização da colheita, contribuindo com a qualidade de bebida dos frutos (Rodrigues et al., 2019). Quando se atinge condições de maturação uniforme a colheita passa a ser realizada de maneira plena, ou seja, com o objetivo de colher todos os frutos presentes na planta. Entretanto a comum desuniformidade proporciona condições aleatórias em que na maioria das vezes deve-se optar pelo método de colheita seletiva (Mesquita et al., 2016).

A colheita seletiva objetiva colher somente os frutos que já atingiram ou ultrapassaram a maturação ideal para colheita, mantendo na planta os frutos ainda imaturos para futuro repasse da operação no momento em que os mesmos atingirem a condição ideal (Mesquita et al., 2016). A seleção dos frutos ocorre por meio da força exigida para destacamento, sendo superior em frutos imaturos e atenuada conforme se eleva o grau de maturação (Barros et al., 2018). A principal diferença de força exigida para o destacamento ocorre entre os frutos verdes e cerejas, representando

discrepância de até 42% em variedade Catuaí (Silva et al., 2010a), uma das mais cultivadas em território nacional.

A imposição de regulagens de colheita plena em lavouras com maturação desuniforme implica em sobrecarga energética das hastes da colhedora sobre os ramos e frutos, e podem elevar consideravelmente os níveis de perdas e danos às plantas (Silva et al., 2015). Os danos causados às plantas são irreparáveis, prejudicando o desempenho do cafeeiro nas safras subsequentes (Tavares et al., 2019). Entretanto o café que cai sobre o solo pode ser recolhido até duas vezes em operações de recolhimento mecanizado (Oliveira et al., 2020). Uma das alternativas para redução dos problemas acima citados é a utilização de regulagens mais brandas, que proporcionarão menor tempo de exposição do cafeeiro à ação da colhedora.

#### **2.4. Exposição de plantas**

O cultivo de café a pleno Sol representa mais de 90% das lavouras nacionais (Ricci et al., 2002) e expõe o cafeeiro a comportamentos particulares; um deles é a bienalidade de produção (Matiello et al., 2017). A relação fonte-dreno existente entre os frutos e folhas contribui para que a planta apresente maior desenvolvimento vegetativo em um ano, seguido de um ano com maior capacidade produtiva devido à maior quantidade de ramos produtivos (Mendonça et al., 2011), entretanto a diferença de incidência solar entre as faces do cafeeiro pode também contribuir com este processo (Santinato et al., 2020).

Considerando a produção de frutos como o principal objetivo de exploração do cafeeiro, Bicalho et al., (2005) sugere os sentidos Leste-Oeste e Nordeste-Sudoeste como os melhores direcionamentos de transplântio. Entretanto, os mesmos autores indicam a existência de grande variabilidade entre os lados da planta em função do posicionamento solar, como se cada lado da planta pertencesse a lavouras distintas.

O alinhamento de transplântio interfere na radiação fotossinteticamente ativa interceptada e no índice de área foliar (Cunha e Volpe, 2010), sendo estes os responsáveis pela produção de biomassa das culturas (Radin et al., 2003). A lâmina foliar é a estrutura da planta que mais se modifica em resposta às alterações ambientais e constitui o principal sítio na produção de fotoassimilados (Silva et al.,

2005), podendo ser um fator preponderante para ganhos de produtividade e qualidade dos frutos de café (Pinto et al., 2006).

Considerando a uniformidade de exposição e interceptação luminosa para ambos os lados da planta, recomenda-se o plantio das mudas com direcionamento de azimute equivalente a  $-24^{\circ} 16'$  (Oliveira et al., 2012), possibilitando assim maior uniformidade de crescimento, desenvolvimento e produção. Em contrapartida o controle da exposição do cafeeiro à luminosidade, por meio de cultivo sombreado, traz benefícios para a planta, principalmente no que diz respeito a qualidade de bebida dos frutos por proporcionar maturação mais lenta (Mancuso et al., 2013), sem que haja redução considerável de produtividade (Ricci et al., 2006).

Na cafeicultura de Cerrado, por apresentar topografia favorável, torna-se possível a implantação de lavouras com direcionamento de plantas que contribua a exposição uniforme das mesmas (Fernandes et al., 2012). Entretanto, para a cafeicultura de montanha, representada por relevos fortemente acidentados, o mesmo parâmetro não pode ser utilizado por proporcionar interferência negativa na degradação do solo, devendo realizar o plantio seguindo as condições impostas pelo relevo (Alves et al., 2017).

A cafeicultura de Cerrado possui como grande aliada a irrigação (Fernandes et al., 2012) que na maioria das vezes é realizada via pivô central (Santinato e Fernandes, 2002), impossibilitando o controle de direcionamento e exposição uniforme de transplântio das mudas, uma vez que o cultivo é realizado de maneira circular. A desuniformidade das plantas em cultivos circulares exige que as operações sejam adaptadas para cada condição, interferindo na qualidade dos processos (Cassia, 2012).

A colheita mecanizada vem sendo acompanhada, há tempos, quanto a sua qualidade e exposição da planta à máquina e à radiação solar; sabendo que desde então o tempo de aplicação da vibração pela máquina é proporcional aos danos causados às plantas (Nogueira et al., 1975). Cada vez mais elevou-se a busca pelo controle da variabilidade dos processos que, para a colheita mecanizada, teve como alternativa a administração da exposição das plantas à ação da colhedora, buscando melhor eficácia no método de colheita seletiva (Sales, 2011).

Pesquisadores analisaram a influência de indicadores de qualidade da colhedora, dentre eles a velocidade de deslocamento (Oliveira et al., 2007), intensidade de vibração das hastes derriçadoras (Santinato et al., 2014), pressão dos freios dos cilindros batedores (Sales, 2011) e composição do conjunto de hastes (Santinato et al., 2015b). A planta também se tornou objetivo de estudos com base na colheita, analisando a desfolha das plantas e quebra de ramos (Santinato et al., 2019a), perdas de frutos (Santinato et al., 2014), eficiência de derriça (Tavares et al., 2019) e força de desprendimento (Silva et al., 2010a). Conclui-se que apesar da assertividade em regulagens da máquina, existe grande variabilidade e diferença de comportamento da planta no que diz respeito às faces de exposição, variedades distintas e período de colheita, tornando-se objetivo de estudos futuros.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Área experimental**

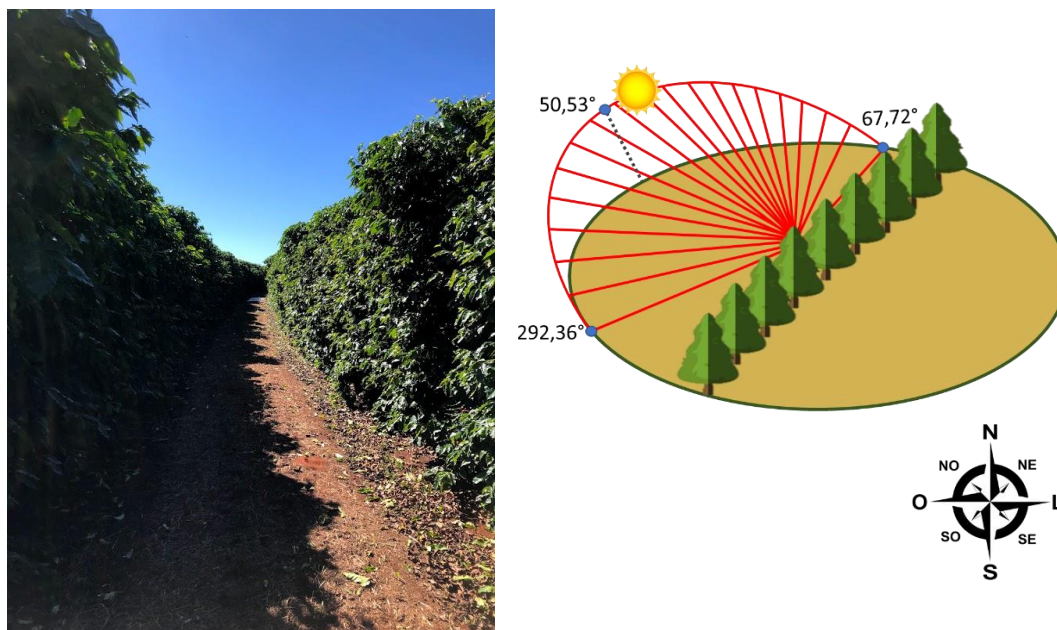
O experimento foi conduzido na quarta semana do mês de maio do ano de 2020 em área da Fazenda Gaúcha/Café, no município de Presidente Olegário, região noroeste do estado de Minas Gerais conhecida por locais onde predominam áreas com maior aptidão ao cultivo mecanizado. A área em análise apresentou altitude média de 968 metros, com relevo suave ondulado (Santos et al., 2013) e declividade média de 3%. A variedade colhida foi a Catuaí Vermelho IAC 144 com 15-16 anos, cultivada em espaçamento de 4,0 m entre linhas e 0,5 m entre plantas, totalizando 5.000 plantas ha<sup>-1</sup>, com sistema de irrigação tipo LEPA (Low Energy Precision Application) (Bordovsky, 2018).

Foram utilizadas oito linhas da cultura, com comprimento médio de 200 m nas quais foram instaladas parcelas com 28 m de comprimento. No interior das parcelas foram selecionadas 5 plantas para análise dos indicadores de qualidade totalizando área amostral de 2,5 m. O segmento de linhas avaliadas apresentava posicionamento em relação à exposição solar Nordeste-Sudoeste, o qual possibilitou que somente a face Norte da planta se mantivesse exposta à luminosidade solar.

#### **3.2. Exposição do cafeeiro à incidência solar**

As plantas de café foram avaliadas de acordo com a sua face de exposição à incidência solar. A face Norte da planta recebe maior incidência luminosa, sendo caracterizada como face exposta, e o contrário pôde ser observado na face Sul, o que a caracterizou como face sombreada (Figura 1a). O posicionamento das plantas perante ao Sol pode interferir em processos fisiológicos da planta (Geromel et al., 2008) e também no processo de colheita mecanizada. O posicionamento do Sol em relação à Terra no dia em que foi realizada a colheita da área experimental, 27/05/2020, era de elevação máxima igual a 50,53°; com azimute de 67,72° e 292,36° no nascer e pôr do sol, respectivamente (Figura 1b), ou seja, o Sol nascendo próximo ao Nordeste e se pondo próximo ao Noroeste.





**Figura 1.** Linha da cultura com a face Norte exposta e face Sul sombreada (a). Posicionamento solar no dia 27/05/2020 (b).

### 3.3. Caracterização da área

Devido à heterogeneidade das plantas (Ferraz et al., 2017) é imprescindível a realização de caracterização da lavoura a ser avaliada, aferindo a altura média das plantas com o auxílio de trena graduada e escada, o que possibilita a identificação e zoneamento correto das plantas em gradiente vertical (Honda Filho, 2018), separando a planta em três terços, sendo denominados terço superior, médio e inferior. As plantas apresentavam média de altura de 3,0 m, proporcionando assim um gradiente vertical do cafeeiro em três terços de 1,0 m cada.

A carga de café presente na planta a ser colhida, assim como o grau de maturação dos frutos são importantes fatores a serem caracterizados para a realização da colheita mecanizada (Amâncio, 2018), portanto foram derriçadas manualmente 5 plantas por parcela, a fim de quantificar a massa e volume de café presente em cada terço para caracterização de produtividade da área (Tabela 1). Para a coleta dos frutos foram posicionadas lonas sob a saia do cafeeiro dos dois lados, onde as plantas são derriçadas (destacamento dos frutos) por terços seguindo o gradiente vertical no sentido de cima para baixo. O sentido de derriça é um importante fator a considerar devido o terço superior da planta apresentar maior grau de

maturação dos frutos e, conseqüentemente, menor força de desprendimento dos mesmos (Silva et al., 2010a).

**Tabela 1.** Média de produtividade de café (kg de café beneficiado ha<sup>-1</sup>) por face de exposição e terço da planta.

| Face/Terço       | Superior | Médio  | Inferior | TOTAL  |
|------------------|----------|--------|----------|--------|
| <b>Exposta</b>   | 1242,0   | 810,6  | 269,4    | 2322,0 |
| <b>Sombreada</b> | 1088,4   | 1003,8 | 420,6    | 2512,8 |

Após a coleta e pesagem de todos os frutos derriçados da planta é extraída uma amostra de 500 ml para caracterização da maturação dos frutos (Barros et al., 2018) para cada terço. Os frutos de café apresentam fases diferentes de maturação, sendo considerado ideal para colheita quando mais de 70% encontram-se na fase cereja (madura), ou com 20% na fase verde e 5% na fase seca (Mesquita et al., 2016). O índice de maturação da planta além de determinar o momento ideal de entrada das máquinas para colheita, pode determinar também a melhor regulagem para que a operação atinja bom desempenho, eficiência e colha os frutos desejados (Ferreira Júnior et al., 2016).

Para cálculo do índice de maturação dos frutos foi utilizada a Equação 1, adaptada de (Silva et al., 2010a) com base em frutos verdes, cerejas e secos. A equação utilizada apresenta valores de resultado final variando entre 1 e 5, sendo 1 quando 100% dos frutos estão na fase verde e 5 quando 100% estão na fase cereja; a equação é preenchida com as quantidades de cada maturação expressas em porcentagem. O índice de maturação indicado para colheita é quando a equação apresentar resultado mínimo igual a 4,0, momento no qual atingirá a indicação de (Mesquita et al., 2016).

$$\text{Índice de maturação} = \frac{(1 \times \text{verde}) + (5 \times \text{cereja}) + (4 \times \text{seco})}{(\text{verde} + \text{cereja} + \text{seco})} \quad (1)$$

em que:

Verde: % de frutos no estágio verde de maturação;

Cereja: % de frutos no estágio cereja de maturação;

Seco: % de frutos no estágio seco de maturação.

Cada fase de maturação apresenta um padrão de força exigida para realizar o destacamento dos frutos da planta (Barros et al., 2018). Entretanto a discrepância de força entre as maturações pode alterar em função principalmente da variedade (Silva et al., 2013), do sentido da força (Assirelli et al., 2018), como também pela exposição do fruto. A força necessária para destacar os frutos, junto do índice de maturação pode auxiliar a gestão da colheita indicando possíveis regulagens a serem utilizadas para que se obtenha sucesso na operação. Portanto, utilizou-se um dinamômetro digital portátil modelo DD-500 da marca Instrutherm com precisão de  $\pm 0,4\%$  para caracterização da força exigida para destacamento dos frutos em cada uma das fases de maturação (Verde, Cereja, Seco), avaliando 144 frutos para cada maturação e face de exposição da planta.

### 3.4. Adequação da colhedora

A colheita da área experimental foi realizada de maneira mecanizada por uma colhedora autopropelida da marca Jacto, modelo K3500, com sistema independente de armazenamento de frutos com capacidade de 3000 litros (Figura 2), o que possibilita a realização ininterrupta da colheita. A operação foi realizada durante as horas de maior incidência solar do dia (12:00h às 15:00h).



**Figura 2.** Colhedora autopropelida da marca Jacto, modelo K3500.

Previamente à operação de colheita foi realizada a caracterização e adequação da colhedora às regulagens pré determinadas. Optou-se por trabalhar com 35 conjuntos de hastes derriçadoras (Figura 3a), sendo os 12 conjuntos superiores com comprimento de hastes de 570 mm e os 23 conjuntos restantes com comprimento de 505 mm. A escolha de hastes mais longas para colheita da parte superior da planta é comumente realizada devido à característica morfológica e produtiva do cafeeiro de produzir frutos mais próximos do ramo ortotrópico (Matiello et al., 2010), o que exige hastes mais compridas para alcançar e derriçar os frutos. O inverso ocorre no terço médio e inferior onde os frutos ficam posicionados geralmente do meio até o final dos ramos e, visando menor ocorrência de danos às plantas, é realizada a escolha de hastes mais curtas.



**Figura 3.** Mecanismo de derriça da colhedora (a). Calibração da pressão do freio dos cilindros batedores (b).

Além da quantidade e comprimento das hastes derriçadoras foi realizada a calibração da pressão do freio dos cilindros batedores. Os cilindros batedores são responsáveis pela sustentação dos conjuntos de hastes derriçadoras; transformação das rotações em vibrações para as hastes; acompanhamento das plantas por meio de movimentos circulares e do deslocamento da máquina. A regulação do cilindro é feita pela calibração da pressão das molas que realizam a frenagem dos movimentos e, quanto maior é a pressão imposta nas molas, maior é a resistência do cilindro ao movimento circular de acompanhamento das plantas e maior é a vibração imposta às plantas, resultando em maior agressividade dos mecanismos de derriça à planta. O contrário ocorre quando a pressão é reduzida, aliviando os movimentos.

São sugeridas pressões de trabalho entre 78,4 N (8 kgf) e 117,7 N (12 kgf) (Ferreira Júnior et al., 2016). No presente estudo, optou-se por utilizar 107,9 N (11 kgf) calibrado de acordo com a metodologia proposta por (Sales, 2011) onde é aferida a força exigida para deslocamento do cilindro com auxílio de balança posicionada na haste derriçadora a 0,45 m da parte externa do cilindro (Figura 3b). A máquina é composta por dois cilindros independentes e a calibração deve ser realizada para ambos.

### 3.5. Exposição do cafeeiro à colheita mecanizada

Além das adequações realizadas na máquina, é imprescindível a escolha da combinação de rotações e velocidade de deslocamento. A combinação destes dois fatores resulta em tempo de exposição da planta à ação da colhedora, sendo calculado por meio da Equação 2 e expresso em segundos por planta.

$$TE = \frac{R \times e}{16,67 \times v} \quad (2)$$

Em que:

TE: Tempo de exposição da planta à ação da colhedora (s planta<sup>-1</sup>);

R: número de rotações por minuto (rpm) das hastes vibratórias;

e: espaçamento entre plantas (m);

16,67: fator de conversão de unidades;

v: velocidade de deslocamento da colhedora (km h<sup>-1</sup>).

O presente trabalho levou em consideração a utilização de quatro velocidades de deslocamento combinadas com duas rotações que, quando transformadas para a grandeza tempo de exposição, originaram 7 tempos distintos, que permitiram definir 8 níveis de agressividade para as regulagens da colhedora, sendo o nível 1 a regulagem menos agressiva e o nível 8 a mais agressiva (Tabela 2). A velocidade de deslocamento da máquina é uma grandeza inversamente proporcional ao tempo de exposição da planta, em contrapartida, o aumento das vibrações contribui para o aumento do tempo de exposição.



**Tabela 2.** Velocidades de deslocamento, rotações das hastes vibratórias, tempos de exposição da planta à ação da colhedora e grau de agressividade das regulagens da colhedora.

| <b>Agressividade</b>                              | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>6</b> | <b>7</b> | <b>8</b> |
|---------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Tempo de exposição (s planta<sup>-1</sup>)</b> | 16,10    | 18,80    | 19,30    | 22,50*   | 22,50†   | 27,00    | 28,10    | 33,80    |
| <b>Velocidade (m h<sup>-1</sup>)</b>              | 1400     | 1200     | 1400     | 1000     | 1200     | 1000     | 800      | 800      |
| <b>Rotação (rpm)</b>                              | 750      | 750      | 900      | 750      | 900      | 900      | 750      | 900      |

### 3.6. Indicadores de qualidade de colheita

Todas as análises realizadas foram coletadas separadamente para cada terço e face de exposição da planta.

#### 3.6.1. Eficiência de derriça

A eficiência de derriça é um indicador de qualidade da colheita que representa a quantidade de café que foi derriçado da planta. O cálculo da eficiência é feito com base na carga inicial de café presente na planta antes da colheita (produtividade) e na carga de café remanescente na planta após a passagem da colhedora. A amostragem abrangia a carga de café presente em 5 plantas e o cálculo da eficiência de derriça realizado de acordo com a Equação 3.

$$EfD (\%) = \frac{CI - CR}{CI} \times 100 \quad (3)$$

Em que:

EfD: Eficiência de derriça (%)

CI: Carga inicial de café (kg café beneficiado ha<sup>-1</sup>)

CR: Carga de café remanescente (kg de café beneficiado ha<sup>-1</sup>)

\* Tempo de exposição obtido com velocidade de deslocamento de 1000 m h<sup>-1</sup> e rotação de 750 rpm.

† Tempo de exposição obtido com velocidade de deslocamento de 1200 m h<sup>-1</sup> e rotação de 900 rpm.

Na cafeicultura moderna está cada vez mais comum a realização de colheitas seletivas, e estas, por visar somente a colheita de frutos cerejas, podem apresentar valores baixos de eficiência de derriça, o que não indica necessariamente uma operação mal realizada. Entretanto, quando o objetivo é de colheita total dos frutos a eficiência de derriça deve ser representada por valores altos para que seja realmente satisfatória.

### **3.6.2. Índice de maturação do café remanescente**

O café remanescente na planta pode apresentar desuniformidade de maturação assim como apresenta antes da colheita. Portanto, é importante a identificação do índice de maturação dos frutos (Equação 1) após a colheita a fim de determinar a qualidade da mesma e decidir quando ao momento de repasse, se necessário.

### **3.6.3. Perdas e Danos às plantas**

Durante a operação frutos podem ser lançados para fora da colhedora devido vibrações extremas, como também o acúmulo de folhas no sistema de recolhimento da máquina pode impedir com que os frutos sejam levados até o tanque graneleiro, implicando em perdas de frutos e danos excessivos ao cafeeiro. A avaliação destes indicadores foi realizada posicionando o pano de colheita no solo abrangendo 2,5 m, área ocupada por 5 plantas (Santinato et al., 2019a), após a passagem da colhedora é quantificada a massa de café que, combinada com a carga de café inicial da planta possibilita a determinação da porcentagem de frutos perdidos no processo de colheita (Equação 4). As folhas e ramos presentes também são quantificadas e representam a quantidade de danos às plantas em kg ha<sup>-1</sup>.

$$P = \frac{MCC}{CI} \times 100 \quad (4)$$

em que:

P: Perdas (%)

MCC: Massa de café caído (g)

CI: Carga inicial de café (kg café beneficiado ha<sup>-1</sup>)



### 3.7. Análise estatística dos dados

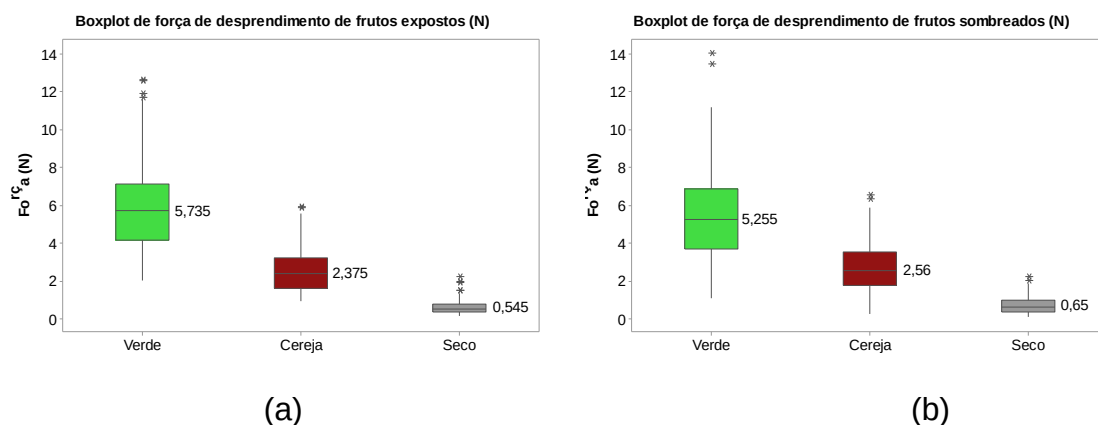
O delineamento experimental foi em faixas representadas por 8 linhas de café com comprimento médio de 200 m, contando com 8 tratamentos e 3 repetições determinados de acordo com os tempos de exposição da planta à colheita. Cada tratamento abrangia duas linhas da cultura lado a lado e as linhas divididas ao meio a fim de comportar dois tratamentos. A escolha de duas linhas por tratamento foi idealizada com o objetivo de efetuar as análises pré-colheita e pós-colheita em linhas lado a lado, devido as análises pré colheita possuírem caráter destrutivo.

O controle estatístico de processos tem apresentado ótima capacidade para análise de dados oriundos de operações agrícolas mecanizadas, sejam de preparo de solo (Silva et al., 2014), semeadura (Santos et al., 2017), aplicação de defensivos (Reis et al., 2010) e colheita (Oliveira et al., 2020; Paixão et al., 2020). Os dados foram coletados seguindo as premissas do controle estatístico de processos (Montgomery e Borror, 2017) à fim de constatar a estabilidade, comportamento médio e qualidade do processo no decorrer do tempo. Os resultados foram apresentados por gráficos sequenciais conhecidos como cartas de controle de valores individuais; *RunCharts*, capazes de detectar padrões de comportamento dos dados; *Boxplot*, representado por diagrama de caixas para apresentar a discrepância dos dados com base em suas margens de comportamento.

As cartas de controle de valores individuais apresentam dados reais obtidos em campo por meio das análises realizadas. Os tratamentos (tempo de exposição) são representados no gráfico por estágios, contendo 9 observações cada. As 3 primeiras referem-se à avaliação do terço superior da planta, as 3 observações finais apresentam os valores do terço inferior da planta e o terço médio é representado pelas observações centrais de cada estágio.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os frutos de café apresentam exigência de força média para o desprendimento que possibilita a diferenciação dos graus de maturação. Os frutos verdes, os quais geralmente não são o objetivo principal da colheita, apresentaram maior média de força em relação aos demais tanto na face exposta quanto na sombreada (Figura 4), No entanto, essa diferença é maior na face exposta (Figura 4a) do que na face sombreada (Figura 4b) indicando que a chance de obter sucesso em uma colheita seletiva seja maior quando comparada com a face sombreada.

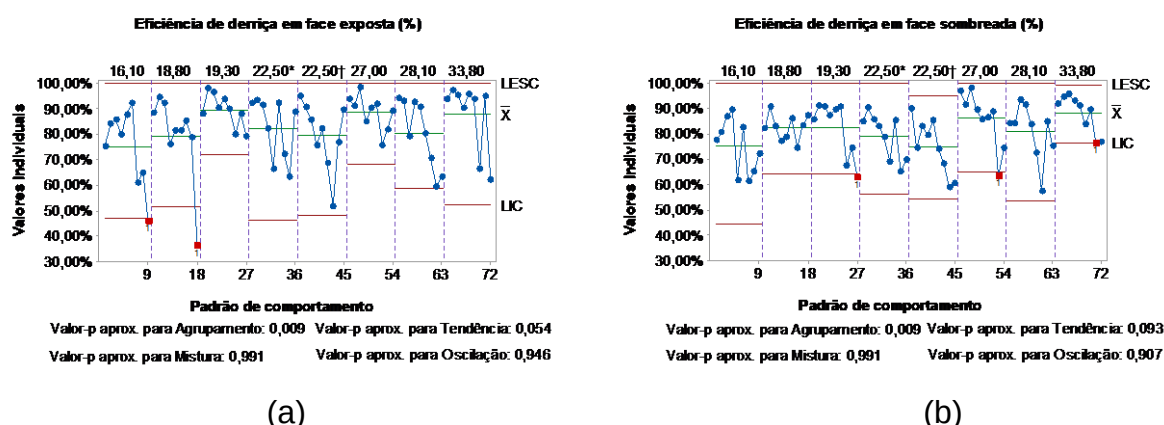


**Figura 4.** Boxplot para força de desprendimento de frutos em face exposta (a) e face sombreada (b).

A face exposta da planta apresentou diferença de força de desprendimento de 0,93 N entre o quartil 1 dos frutos verdes e o quartil 3 dos frutos cereja, enquanto para a face sombreada esta diferença foi de 0,14 N. Quanto menor é a diferença de força entre os frutos verdes e cereja mais difícil se torna o processo de colheita seletiva devido à maturação ocorrer em pontos aleatórios da planta. As medianas indicam que os frutos cereja exigiram força equivalente a 2,4 N para serem destacados da planta, enquanto para os verdes esta força chegou a 5,7 N.

Na Figura 5 tem-se a variabilidade da eficiência de derriça de acordo com o aumento do nível de agressividade da colhedora à planta (tempo de exposição). Pode-se observar que o aumento da agressividade proporciona aumento na eficiência de derriça, independentemente da exposição da planta ao sol. Isso ocorre devido à planta

ficar mais tempo em contato com as vibrações e com o impacto imposto pela colhedora. Considera-se valores próximos a 80% como eficiência de colheita satisfatória (ASAE, 2009). Entretanto, para a cultura do café é comum o hábito de realização de colheita seletiva dos frutos, ou seja, efetuar a colheita somente dos frutos maduros (cereja) e dos que já ultrapassaram o ponto de colheita (seco) e deixar intactos na planta os frutos ainda imaturos (verdes), até que atinjam a maturação ideal para futuro repasse da colhedora, reduzindo os valores de eficiência satisfatórios para 50% (Silva et al., 2013). Os resultados mostram incremento de até 10% na média de eficiência de derriça com o aumento do tempo de exposição da planta à colheita, possibilitando identificar que o terço inferior (3 últimas observações de cada estágio) apresenta os valores mais baixos, chegando a atingir 36%, como observado no ponto 18 (Figura 5a).



**Figura 5.** Cartas de controle de valores individuais e padrão de comportamento dos dados de eficiência de derriça de café em face exposta (a) e face sombreada (b).

A ocorrência de outliers (pontos fora de controle) e o afastamento dos limites de controle indicam a alta variabilidade no decorrer do processo de colheita. A variabilidade encontrada existe em decorrência da diferença entre os terços da planta, possuindo eficiência maior no terço superior e médio e menor no terço inferior, representando todos os outliers dos gráficos. A diferença de eficiência não é incomum para a cultura do café devido à planta apresentar maturação desuniforme, ocorrendo principalmente em função dos terços (Kazama et al., 2020), ou seja, na mesma planta existem frutos com alto grau de maturação e frutos verdes, sendo estes últimos encontrados com maior frequência no terço inferior. As regulagens da colhedora são

importantes fatores a serem adequados para atingirem o objetivo esperado, que é de destacar os frutos excedendo a força de ligação fruto-pedúnculo (Tombesi et al., 2017). O que faz com que os frutos verdes interfiram negativamente na eficiência de derriça é a força de desprendimento necessária para colheita, sendo maior que dos frutos maduros (Ferreira Júnior et al., 2018) e, portanto, causando maior dificuldade de destacamento.

Os *outliers* ocorrem devido à presença de causas especiais que interferem no processo proporcionando instabilidade, podendo ser explicadas pelo diagrama de Ishikawa (Grabowska, 2018), o qual compreende os fatores 6M's, sendo eles: Material, Mão-de-obra, Máquina, Método, Medição e Meio ambiente (Paixão et al., 2020). Como explicado no parágrafo acima, os pontos fora de controle observados nos gráficos de eficiência de derriça são originados principalmente pelo fator material devido à característica de comportamento da maturação da planta.

Observou-se pela análise das *run-charts* que para ambas as faces de exposição os dados apresentaram padrão de agrupamento (significativo quando  $p < 0,05$ ) (Figura 5); isto ocorre quando os pontos se concentram acima ou abaixo da mediana e foi condicionado pela semelhança entre os valores de eficiência de derriça nos terços superior e médio. O padrão de agrupamento deixa explícita a influência do terço inferior na eficiência de derriça da planta inteira, sendo na maioria dos casos o principal responsável pela redução do valor médio, uma vez que os agrupamentos encontrados na carta de controle encontram-se acima da média.

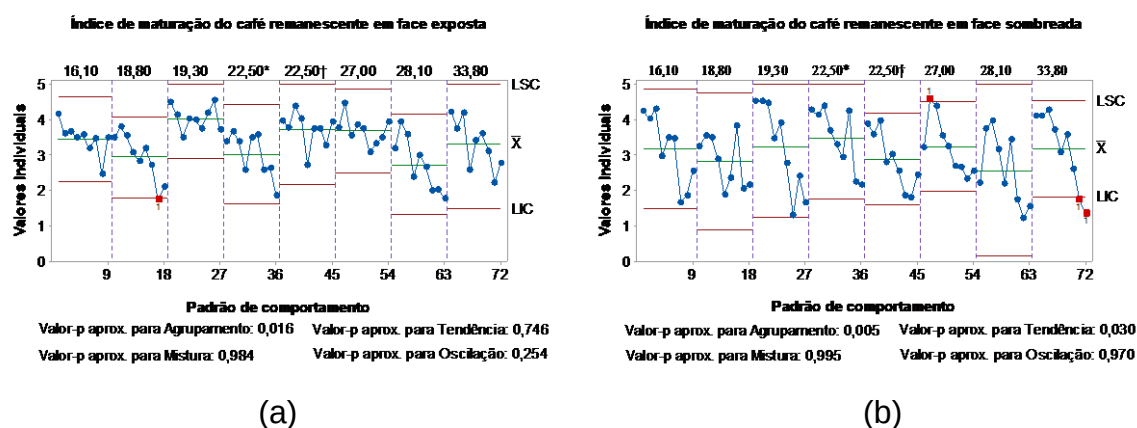
A face de exposição solar da planta apresentou baixa interferência na eficiência de derriça do café, indicando que mesmo com diferença de exposição solar a eficiência de derriça não é afetada (Cassia et al., 2016). Os tratamentos 22,50\* (agressividade 4) e 22,50† (agressividade 5) s planta<sup>-1</sup> possuem semelhança quanto ao tempo de exposição da planta à ação da colhedora. Entretanto, se divergem quanto ao nível de agressividade, pois representam regulagens diferentes da máquina, uma vez que o tempo de 22,50\* foi atingido com menor velocidade e vibração (1000 m h<sup>-1</sup> e 750 rpm) e 22,50† o seu oposto (1200 m h<sup>-1</sup> e 900 rpm); esta condição possibilitou identificar que a redução da velocidade de deslocamento contribui mais que o aumento da vibração para a eficiência de derriça quando se tem tempos de exposição semelhantes.

A média geral (independentemente do tempo de exposição à colheita e terço da planta) de eficiência de derriça (Tabela 3) para a face exposta foi de 83% enquanto para a face sombreada foi de 81%. A maior discrepância foi observada no terço superior, onde a diferença foi de 3%, sendo maior na face exposta.

**Tabela 3.** Média geral de eficiência de derriça de café por face de exposição e terço da planta.

| <b>Face/Terço</b> | <b>Superior</b> | <b>Médio</b> | <b>Inferior</b> | <b>TOTAL</b> |
|-------------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|
| <b>Exposta</b>    | 91%             | 85%          | 72%             | 83%          |
| <b>Sombreada</b>  | 88%             | 83%          | 73%             | 81%          |

O índice de maturação do café presente na planta, junto da classificação da força de desprendimento dos frutos auxilia na identificação do momento ideal para início da colheita (Barros et al., 2018), e quando é realizado após a colheita pode contribuir com a caracterização do café remanescente na planta para posicionamento quanto ao possível repasse da colheita, além de mostrar o resultado obtido pelas combinações de regulagens empenhadas na máquina durante o processo. A carta de controle de valores individuais de índice de maturação do café remanescente (Figura 7) revela melhor qualidade no processo de colheita da face exposta por apresentar menor variabilidade e menos pontos fora de controle.



**Figura 6.** Cartas de controle de valores individuais e padrão de comportamento dos dados de índice de maturação do café remanescente em face exposta (a) e face sombreada (b).

Pontos com valor inferior a 3,5 representam a predominância de frutos verdes devendo ocorrer com maior frequência em colheitas com maior tempo de exposição da planta à colhedora. De acordo com as cartas de controle da Figura 8, observa-se 3 pontos abaixo do limite inferior de controle, todos representados por amostras do terço inferior. A ocorrência de *outliers* como estes é comum, uma vez que o terço inferior é a última parte da planta a atingir a maturação fisiológica dos frutos para colheita.

A face exposta apresenta maior quantidade de tratamentos com média acima de 3,5 indicando maior presença de frutos cereja principalmente nos terços superior e médio; o mesmo não pode ser observado para a face sombreada, no qual todos os tratamentos apresentaram média inferior a 3,5.

Padrões de comportamento dos dados podem ser observados tanto na carta de controle como nos valores-p. Os terços superior e médio apresentam valores semelhantes, os quais representam os padrões de agrupamento indicados pelos valores-p, além do agrupamento pode ser observado um padrão de tendência para o lado sombreado, representado pelo tratamento de 27,00 s planta<sup>-1</sup> (agressividade 6) no qual ocorre redução do índice de maturação de acordo com os terços.

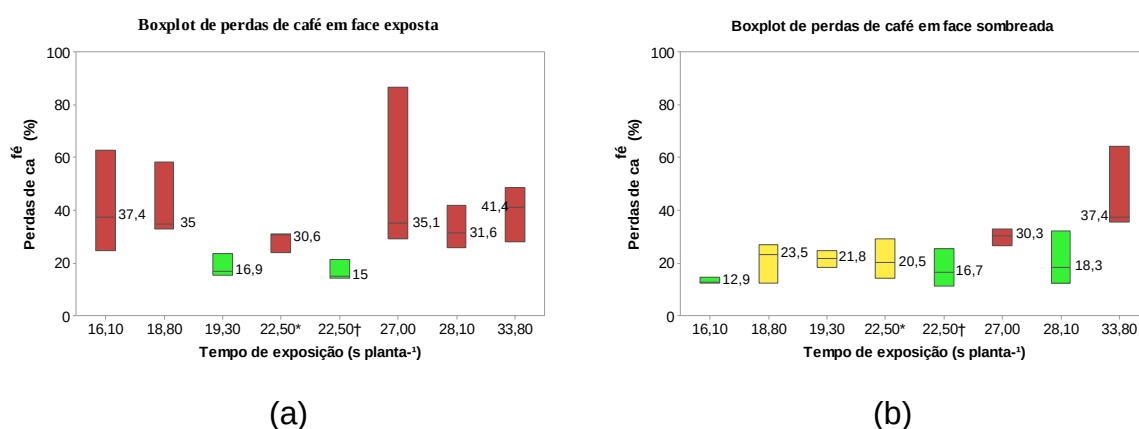
A média geral do índice de maturação (Tabela 4) indica que o terço superior, independentemente da face de exposição e do nível de agressividade da colhedora, foi a parte da planta em que mais prevaleceu a presença de frutos cereja após a passagem da colhedora. Já para os terços médio e inferior os valores foram inferiores

a 3,5 o que indica a predominância de frutos verdes os quais possuem menor transmissibilidade da vibração imposta pela máquina (Gomes et al., 2020). A maior presença de frutos cereja no terço superior pode ser explicada pela localização em que os frutos se desenvolvem na planta que, no terço superior, ocorre mais próxima do ramo ortotrópico (principal) dificultando o destacamento até mesmo dos frutos que exigem uma força menor para isso.

**Tabela 4.** Média geral de índice de maturação do café remanescente por face de exposição e terço da planta.

| Face/Terço       | Superior | Médio | Inferior | TOTAL |
|------------------|----------|-------|----------|-------|
| <b>Exposta</b>   | 3,8      | 3,3   | 3,0      | 3,4   |
| <b>Sombreada</b> | 4,0      | 3,1   | 2,2      | 3,1   |

Para o indicador de perdas de café em função da colheita mecanizada é possível identificar padrão de aumento dos valores de acordo com o aumento do nível de agressividade da colhedora ao cafeeiro, principalmente para a face sombreada da planta (Figura 8b). Apesar da alta amplitude dos dados a mediana se manteve mais próxima do primeiro quartil, o que indica predominância de valores mais baixos, mas ainda assim apresentando aumento gradativo de acordo com os tratamentos.



**Figura 7.** Boxplot de perdas de café em face exposta (a) e face sombreada (b). Valores expressos em porcentagem.

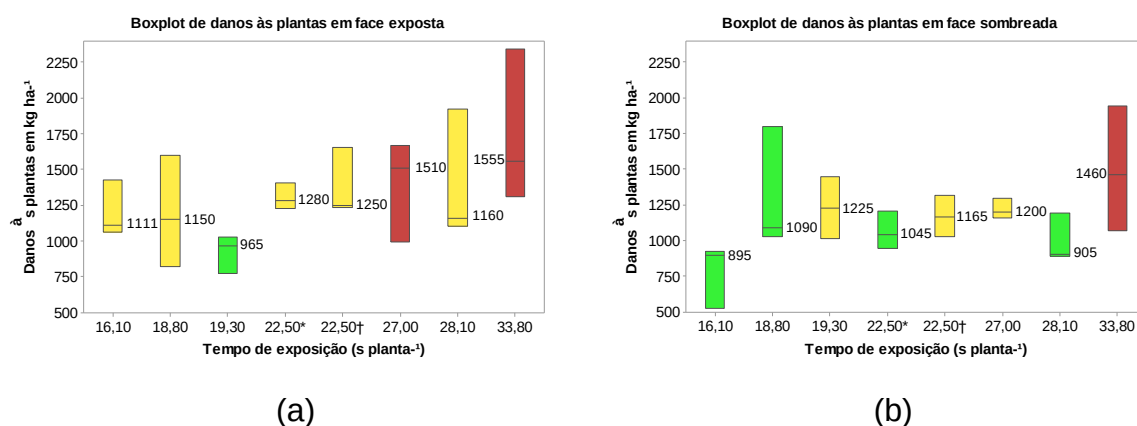
O menor índice de perdas foi observado no tratamento 22,50<sup>†</sup> s planta<sup>-1</sup>, seguido pelo tratamento 19,30 s planta<sup>-1</sup>, apresentando valores baixos quando comparados com os demais tratamentos e com baixa variabilidade para as duas faces de exposição da planta. O maior índice foi observado no tratamento 33,80 s planta<sup>-1</sup>, o qual representa o maior nível de agressividade da colhedora, alcançando os maiores valores para as medianas. A face sombreada da planta apresentou aumento gradativo das perdas com o aumento do tempo de exposição à colheita, representando um incremento de 24,5%.

Os maiores índices de perdas ocorreram na face exposta da planta (Figura 8a), e esta causa é atribuída aos efeitos fisiológicos da planta quando submetida a exposição solar (Santos et al., 2016). Isso faz com que os frutos fiquem mais favoráveis ao destacamento que, quando submetidos a exposição à colhedora, além de serem colhidos podem ser lançados para fora da máquina (Silva et al., 2010a). Este tipo de perda é comum ocorrer principalmente quando são utilizadas baixa velocidade de deslocamento e alto índice de vibrações das hastes derriçadoras, exigindo acompanhamento mais severo.

A variabilidade observada na face exposta da planta indica que a planta apresenta particularidades que a difere da face sombreada, afetando os indicadores de qualidade analisados. Resultados observados na literatura indicam o contrário, apresentando baixa interferência da face de exposição da planta na colheita mecanizada (Cassia et al., 2016).

Paralelo a análise de perdas deve ser considerado também o índice de danos às plantas, uma vez que a desfolha excessiva pode ser tão prejudicial quanto o café caído, devido a possibilidade de recolhimento do café de chão e a impossibilidade de fixação de folhas e ramos arrancados da planta necessitando de um novo ciclo/período de vegetação para que possam ser originadas novas partes vegetativas. Portanto na Figura 9 apresentamos o comportamento dos danos para cada tratamento de acordo com a face de exposição solar da planta.





**Figura 8.** Boxplot de danos à planta em face exposta (a) e face sombreada (b). Valores expressos em kg ha<sup>-1</sup>.

A Figura 9a compreende os resultados de índice de danos para a face exposta da planta de acordo com os tratamentos, apresentando valores de até 2340 kg de folhas e ramos arrancados ha<sup>-1</sup> em casos extremos como para o tratamento de 33,80 s planta<sup>-1</sup> (agressividade 8). Analisando o comportamento dos danos entre os tratamentos é possível identificar aumento exponencial de acordo com a elevação do nível de agressividade da colhedora, indicando que não somente os danos como também as perdas de café são incrementadas com a intensificação das regulagens na face exposta da planta. Resultados semelhantes foram observados na literatura onde o incremento na frequência de vibração elevou os danos em 9% (Santinato et al., 2014).

A face sombreada da planta apresentou melhor estabilidade dos danos quando submetida à colheita (Figura 9b), apontando que o aumento do tempo de exposição à colheita é menos determinante da qualidade do que na face exposta. A estabilidade observada possibilita a utilização de regulagens mais agressivas, ou seja, tempos de exposição mais altos, sem que a planta sofra desfolhas excessivas. Os valores encontrados variaram entre 525 e 1945 kg de folhas e ramos arrancados ha<sup>-1</sup>. Entretanto as medianas se mantiveram próximas a 1250 kg ha<sup>-1</sup>, valor semelhante ao observado em colheita mecanizada de café em microterraços na qual a média se manteve em 1295 kg ha<sup>-1</sup> (Tavares et al., 2019). Os valores médios observados são consideravelmente inferiores quando comparados com os danos causados por colheita manual, onde podem atingir até 3.700 kg ha<sup>-1</sup> (Silva et al., 2010b).

## 5. CONCLUSÕES

A luz solar e a agressividade da máquina afetam a qualidade da colheita mecanizada de café.

A face exposta das plantas, por apresentar maior diferença de força de desprendimento entre os graus de maturação, se adequa melhor à realização da colheita mecanizada seletiva.

Para o mesmo tempo de exposição, a redução da velocidade de deslocamento contribui mais que o aumento da vibração das hastes com a eficiência de derriça.

A melhor qualidade dos indicadores avaliados, para a face sombreada, é obtida com maior agressividade de colheita. Para a face exposta a melhor qualidade é obtida com agressividade menor.

O aumento do tempo de exposição, e consequentemente da agressividade de colheita, eleva os níveis de perdas e danos às plantas.

## 6. REFERÊNCIAS

Alves EL, Pereira FAC, Dalchiavon FC. (2017) Potencial econômico da utilização de micro-terraceamento em lavouras de café: um estudo de caso. **Revista IPecege**, v. 3, n. 1, p. 24–38. DOI: 10.22167/r.ipecege.2017.1.24

Alves JD. (2012) Contribuições da Fisiologia Vegetal para uma Cafeicultura Sustentável. In: Silva, J. C.; Silva, A. A. S. (Eds.). **Sustentabilidade produtiva do cerrado**. Uberlândia: Compose. p. 9–22.

Amâncio ME. (2018) **Avaliação do desempenho operacional e econômico de uma colhedora automotriz de café**. Universidade Federal de Lavras, 75p. Dissertação (mestrado acadêmico).

ASAE. (2009) ASAE EP 497.6 JUN09: Agricultural machinery management data. In: **ASAE standards 2009: standards engineering practices data**. St. Joseph. p. 350–357.

Assirelli A, Caracciolo G, Cacchi M, Sirri S, Pallottino F, Costa C. (2018) Evaluation of the Detachment Force Needed for Mechanical Thinning of Green Peach Fruits. **Sustainability**, v. 10, n. 7, p. 2291. DOI: 10.3390/su10072291

Barros MM, Silva FM, Costa AG, Ferraz GAS, Silva FC. (2018) 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. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v22n5p366-370

Bicalho GOD, Alves JD, Livramento DE, Bartolo GF, Faleiros SC, Guerra-Neto EG. (2005) Direcionamento das linhas de plantio em diferentes orientações cardeais e seus reflexos sobre a produtividade de cafeeiros. In: Simpósio de pesquisa dos cafés do Brasil 2005, Londrina-PR. **Anais...** Londrina-PR: Embrapa Café.

Bordovsky JP. (2018) Low Energy Precision Application (LEPA) Irrigation Method, a Forty-year Review. In: 2018 DETROIT, MICHIGAN JULY 29 - AUGUST 1, 2018, St. Joseph, MI. **Anais...** St. Joseph, MI: American Society of Agricultural and Biological Engineers. Disponível em: <<http://elibrary.asabe.org/abstract.asp?JID=5&AID=49329&CID=det2018&T=1>>

CAGED. (2020) **Agropecuária abriu quase 100 mil vagas em 2020**. Brasília - DF, 6p. ed 27. Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/artigostecnicos/CNA-Comunicado-Tecnico-n27-01outubro2020.pdf>

Cassia MT. (2012) **Qualidade da colheita mecanizada de café em plantio circular sob pivô central**. Faculdade De Ciências Agrárias E Veterinárias Câmpus De Jaboticabal, 56p. Dissertação de Mestrado.

Cassia MT, Silva RP, Santinato F, Compagnon AM, Filho AC. (2016) Effect of planting axles, sunlight faces and rod vibration frequencies in the mechanized coffee harvesting. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 5, p. 392–399. DOI: 10.5897/AJAR2015.9662

CONAB. (2020) **Acompanhamento da safra brasileira: Café. Terceiro Levantamento 2019/2020**. Brasília - DF. 54p. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras>>.

CONAB. (2021) **Acompanhamento da safra brasileira: Café. Primeiro Levantamento 2020/2021**. Brasília - DF. 71p. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras>>.

Cunha AR, Volpe CA. (2010) Relações radiométricas no terço superior da copa de cafeeiro. **Bragantia**, v. 69, n. 2, p. 263–271. DOI: 10.1590/S0006-87052010000200002

Custódio AADP, Lemos LB, Mingotte FLC, Cunha TPL, Carmeis-Filho ACA, Barbosa JC. (2013) Coffee productive and vegetative traits characteristics under different deletions of irrigation and side exposure to sun. **Coffee Science**, v. 8, n. 4, p. 411–422.

Fernandes ALT, Partelli FL, Bonomo R, Golynski A. (2012) A moderna cafeicultura dos cerrados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 2, p. 231–240. DOI: 10.1590/S1983-40632012000200015

Ferraz GAS, Silva FM, Oliveira MS, Custódio AAP, Ferraz PFP. (2017) Variabilidade espacial dos atributos da planta de uma lavoura cafeeira. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 1, p. 81–91. DOI: 10.5935/1806-6690.20170009

Ferreira-Júnior LG, Silva FM, Ferreira DD, Sales RS. (2016) Recomendação para colheita mecânica do café baseado no comportamento de vibração das hastes derriçadoras. **Ciência Rural**, v. 46, n. 2, p. 273–278. DOI: 10.1590/0103-8478cr20141679

Ferreira-Júnior LG, Silva FM, Ferreira DD, Simão SD, Souza GC, Ferreira LK. (2018) Characterization of the coffee fruit detachment force in crop subjected to mechanized harvesting. **Coffee Science**, v. 13, n. 1, p. 71–79.

Gaglianone CD. (2015) **Qualidade operacional do recolhimento mecanizado do café de varrição**. Universidade Estadual Paulista - UNESP/FCAV, 38p. Trabalho de Conclusão de Curso.

Geromel C, Ferreira LP, Davrieux F, Guyot B, Ribeyre F, Scholz MBS, Pereira LFP, Vaast P, Pot D, Leroy T, Androcioli-Filho A, Vieira LGE, Mazzafera P, Marraccini P. (2008) Effects of shade on the development and sugar metabolism of coffee (*Coffea arabica* L.) fruits. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 46, n. 5–6, p. 569–579. DOI: 10.1016/j.plaphy.2008.02.006

Gomes EQ, Santos FL, Nascimento M, Zanella MA. (2020) Transmissibility of coffee fruit-peduncle-branch systems submitted to vibration induced by impact. **DYNA**, v. 87, n. 214, p. 61–65. DOI: 10.15446/dyna.v87n214.85186

Grabowska S. (2018) Improvement of the Production Process in the Industry 4.0 Context. **Multidisciplinary Aspects of Production Engineering**, v. 1, n. 1, p. 55–62. DOI: 10.2478/mape-2018-0008

Honda-Filho CP. (2018) **Dinâmica do crescimento vegetativo e reprodutivo do cafeeiro**. Universidade Federal de Lavras, 49p. Dissertação (mestrado acadêmico).

Kazama EH, Silva RP, Tavares TO, Correa LN, Estevam FNL, Nicolau FEA, Maldonado-Júnior W. (2020) Methodology for selective coffee harvesting in management zones of yield and maturation. **Precision Agriculture**. DOI: 10.1007/s11119-020-09751-1

Lanna GBM, Reis RP. (2012) Influência Da Mecanização Da Colheita na Viabilidade Econômico-financeira da Cafeicultura No Sul de Minas Gerais. **Coffee Science**, v. 7, n. 2, p. 110–121.

Mancuso MAC, Soratto RP, Perdoná MJ. (2013) Shaded coffee production. **Colloquium Agrariae**, v. 9, n. 1, p. 31–44. DOI: 10.5747/ca.2013.v09.n1.a087

MAPA. (2017) Café no Brasil. **Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento**, p. 1, jan. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/cafe/cafeicultura-brasileira>>

Matiello JB, Santinato R, Garcia AWG, Almeida SR, Fernandes DR. (2010) **Cultura de café no Brasil: Novo Manual de Recomendações**. 542p. Rio de Janeiro e Varginha: MAPA/PROCAFÉ.

Matiello JB, Carvalho ML, Siqueira H, Krohling CA. (2015) Modos De Fazer Micro-Terraços Em Cafezais De Montanha. In: 41º Congresso Brasileiro De Pesquisas Cafeeiras, Varginha. **Anais...** Disponível em: <<https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/2725/1/BRT-modosdefazermicroterracosemcafezaisdemontanha-krohling.pdf>>

Matiello JB, Stockl F, Stockl J. (2017) Bionalidade do cafeeiro, mesmo dentro da planta. In: 43º Congresso Brasileiro De Pesquisas Cafeeira, Varginha. **Anais...** Varginha: Procafé. Disponível em: <[http://www.fundacaoprocafe.com.br/sites/default/files/publicacoes/pdf/folhas/Folha 371 - Bionalidade do cafeeiro%2C mesmo dentro da planta.pdf](http://www.fundacaoprocafe.com.br/sites/default/files/publicacoes/pdf/folhas/Folha%20371%20-%20Bionalidade%20do%20cafeeiro%20mesmo%20dentro%20da%20planta.pdf)>

Mendonça RF, Rodrigues WN, Martins LD, Tomaz MA. (2011) Approach about the bienniality of yield in coffee plants. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 13, p. 1–9.

Mesquita CM, Rezende JE, Carvalho JS, Fabri-Júnior MA, Moraes NC, Dias PT, Carvalho RM, Araújo WG. (2016) **Manual do café: Colheita e Preparo**. 56p. Disponível em: <[http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/publicacoes\\_tecnicas/livro\\_colheita\\_preparo.pdf](http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/publicacoes_tecnicas/livro_colheita_preparo.pdf)>

Montgomery DC, Borrer CM. (2017) Systems for modern quality and business improvement. **Quality Technology & Quantitative Management**, v. 14, n. 4, p. 343–352. DOI: 10.1080/16843703.2017.1304032

Nardo LAS, Paixão CSS, Gonzaga AR, Oliveira LP, Voltarelli MA, Silva RP. (2020) Software Optimisation for Mechanised Sugarcane Planting Scenarios to Aid in Decision-Making. **Sugar Tech**. DOI: 10.1007/s12355-020-00868-1

Nogueira VS, Hashizume H, Silva JBS, Carneiro-Filho F, Matiello JB. (1975) Estudos de colheita de café com derricadeiras vibratorias portateis. In: Congresso Brasileiro De Pesquisas Cafeeiras, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Instituto Brasileiro do Café.

Oliveira BR, Tavares TO, Oliveira LP, Silva RP, Chicone LCG. (2020) Technical-economic viability of mechanized picking coffee (*Coffea arabica* L.) in up to three annual operations. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 18, n. 1, p. 1–9. DOI: 10.5424/sjar/2020181-14885

Oliveira E, Silva FM, Salvador N, Figueiredo CAP. (2007) 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. DOI: 10.1590/S0100-69162007000400014

Oliveira KMG, Carvalho LG, Lima LA, Gomes RCC. (2012) Modelagem para a estimativa da orientação de linhas de plantio de cafeeiros. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 2, p. 293–305. DOI: 10.1590/S0100-69162012000200009

Paixão CSS, Voltarelli MA, Silva RP, Borba MAP, Torres LS. (2020) Statistical process control applied to monitor losses in the mechanized sugarcane harvesting. **Engenharia Agrícola**, v. 40, n. 4, p. 473–480. DOI: 10.1590/1809-4430-eng.agric.v40n4p473-480/2020

Pinto FAC, Alves EA, Queiroz DM, Santos NT, Abrahão SA. (2006) Orientation of the area exposed to the sun in coffee plantations in mountainous regions and its effect on beverage quality. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 9, p. 32–39.

Pozza AAA, Martinez HEP, Caixeta SL, Cardoso AA, Zambolim L, Pozza EA. (2001) Influence of the mineral nutrition on intensity of brown-eye spot in young coffee plants. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 36, n. 1, p. 53–60. DOI: 10.1590/S0100-204X2001000100007

Qin WC, Qiu BJ, Xue XY, Chen C, Xu ZF, Zhou QQ. (2016) Droplet deposition and control effect of insecticides sprayed with an unmanned aerial vehicle against plant hoppers. **Crop Protection**, v. 85, p. 79–88. DOI: 10.1016/j.cropro.2016.03.018

Radin B, Bergamaschi H, Reisser-Junior C, Barni NA, Matzenauer R, Didoné IA. (2003) Eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa pela cultura do tomateiro em diferentes ambientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 9, p. 1017–1023. DOI: 10.1590/S0100-204X2003000900001

Reis EF, Queiroz DM, Cunha JPAR, Alves SMF. (2010) Qualidade da aplicação aérea líquida com uma aeronave agrícola experimental na cultura da soja (*Glycine Max L.*). **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 5, p. 958–966. DOI: 10.1590/S0100-69162010000500017

Ricci MSF, Araújo MCF, Franch CMC. (2002) **Cultivo orgânico do café: Recomendações Técnicas**. 1. ed. 101p. Brasília - DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Ricci MSF, Costa JR, Pinto AN, Santos VLS. (2006) Organic cultivation of coffee cultivars grown under full sun and under shading. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 4, p. 569–575. DOI: 10.1590/S0100-204X2006000400004

Rodrigues HL, Dias FD, Teixeira NC. (2015) A Origem do Café no Brasil: A Semente Que Veio Para Ficar. **Revista Pensar Gastronomia**, [s. l.], v. 1, n. 2, p. 1–14.

Rodrigues JP, Salomão PEA, Freitas SDJ, Rodrigues WP, Struiving TB, Vale P. (2019) Effect of growth regulators on maturity of fruit and quality of coffee drink. **Research, Society and Development**, v. 8, n. 6, p. e17861026. DOI: 10.33448/rsd-v8i6.1026

Sales RS. (2011) **Avaliação Da Regulagem Do Freio Dos Vibradores De Colhedoras Na Eficiência de Derriça do Café**. UFLA - Universidade Federal de Lavras. 52p. Dissertação (Mestrado).

Santinato F, Silva RP, Cassia MT, Santinato R. (2014) Análise quali-quantitativa da operação de colheita mecanizada de café em duas safras. **Coffee Science**, v. 9, n. 4, p. 495–505.

Santinato F, Ruas RAA, Silva RP, Filho AC, Santinato R. (2015a) Número de operações mecanizadas na colheita do café. **Ciência Rural**, v. 45, n. 10, p. 1809–1814. DOI: 10.1590/0103-8478cr20140801

Santinato F, Silva CD, Silva RP, Ruas RAA, Fernandes ALT, Santinato R. (2015b) Colheita mecanizada do café em lavouras de primeira safra. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 12, p. 1215–1219. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v19n12p1215-1219



Santinato F, Silva RP, Silva VA, Silva CD, Tavares TO. (2016) Mechanical Harvesting of Coffee in High Slope. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 3, p. 685–691. DOI: 10.1590/1983-21252016v29n319rc

Santinato F, Ruas RAA, Silva RP, Paixão CSS, Ormond ATS. (2019a) Morphological and productive influence of harvest on coffee plants. **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, n. 1, p. 144–150. DOI: 10.21475/ajcs.19.13.01.p6955

Santinato F, Silva CD, Silva RP, Ormond ATS, Gonçalves VAR, Santinato R. (2019b) Operational cost of mechanized harvesting of first-crop coffee. **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, n. 9, p. 1503–1510. DOI: 10.21475/ajcs.19.13.09.p1727

Santinato F, Matiello JB, Santinato R, Gonçalves VAR. (2020) **Direcionamento de plantio, exposição solar e suas implicações no cafeeiro**. 1 ed. 25p. Disponível em: <https://www.santinatocafes.com/artigos/detalhe/6396/direcionamento-de-plantio-exposicao-solar-e-suas-implicacoes-no-cafeeiro>

Santinato R, Fernandes ALT. (2002) **Cultivo do cafeeiro irrigado em plantio circular sob pivô central**. 1. ed. 251p. Belo Horizonte: O Lutador.

Santos AF, Silva RP, Tavares TO, Ormond ATS, Rosalen DL, Assis LC. (2017) Parallelism error in peanut sowing operation with auto-steer guidance. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 10, p. 731–736. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v21n10p731-736

Santos HG, Jacomine PKT, Anjos LHC, Oliveira VÁ, Lumbreras JF, Coelho MR, Almeida JÁ, Cunha TJF, Oliveira JB. (2013) **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. [s.l: s.n.]. v. 17. 253p.

Santos LA, Lorenzetti ER, Souza PE, Paula PVAA, Luz ALF. (2016) Scalding in the coffee: Exposure face and photosynthetic damage. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 10, n. 1, p. 13–17.

Silva FC. (2008) **Efeito Da Força De Desprendimento E Da Maturação Dos Frutos De Cafeeiros Na Colheita Mecanizada**. Universidade Federal de Lavras, [s. l.]. 106p. Dissertação (Mestrado).

Silva FC, Silva FM, Alves MC, Barros MM, Sales RS. (2010a) 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. DOI: 10.1590/S1413-70542010000200028

Silva FC, Silva FM, Sales RS, Ferraz GAS, Barros MM. (2017) Variáveis meteorológicas e da umidade do solo na força de desprendimento dos frutos do café. **Coffee Science**, v. 12, n. 4, p. 480.

Silva FC, Silva FM, Silva AC, Barros MM, Palma MAZ. (2013) 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.

Silva FM, Alves MC, Souza JCS, Oliveira MS. (2010b) Efeitos da colheita manual na bienalidade do cafeeiro em Ijaci, Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 3, p. 625–632. DOI: 10.1590/S1413-70542010000300014

Silva LM, Alquini Y, Cavallet VJ. (2005) Inter-relações entre a anatomia vegetal e a produção vegetal. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, n. 1, p. 183–194. DOI: 10.1590/S0102-33062005000100018

Silva RP, Voltarelli MA, Cassia MT, Vidal DO, Cavichioli FA. (2014) Quality of the operations of reduced soil tillage and coffee seedlings transplanting. **Coffee Science**, v. 9, n. 1, p. 51–60.

Silva RP, Santinato F, Tavares TO, Santinato R. (2015) **Cartilha LAMMA do produtor rural: Colheita mecanizada do café**. Jaboticabal - SP. Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola. 32p. 1ed.

Soela DM, Vitória EL, Oliveira RF, Crause DH, Freitas ILJ, Locatelli T. (2020) Control spraying process statistics using unproved air vehicle in conilon coffee culture. **Brazilian Journal of Production Engineering**, v. 6, n. 4, p. 52–63.

Souza GS, Silva SA, Lima JS, Carlos A, Filho V, Infantini MB, Krohling CA. (2018) Advances in the mechanization of conilon coffee. **Incaper em revista**, v. 9, p. 31–41.

Tavares TO, Santinato F, Silva RP, Voltarelli MA, Paixão CSS, Santinato R. (2015) Qualidade do recolhimento mecanizado do café. **Coffee Science**, v. 10, n. 4, p. 455–463.

Tavares TO. (2016) **Recolhimento Mecanizado Do Café Em Função Do Manejo Do**

**Solo E Da Declividade Do Terreno.** Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 58p. Dissertação de mestrado.

Tavares TO, Oliveira BR, Silva VA, Silva RP, Santos AF, Okida ES. (2019) The times, movements and operational efficiency of mechanized coffee harvesting in sloped areas. **PLoS ONE**, v. 14, n. 5, p. 1–10. DOI: 10.1371/journal.pone.0217286

Tombesi S, Poni S, Palliotti A, Farinelli D. (2017) Mechanical vibration transmission and harvesting effectiveness is affected by the presence of branch suckers in olive trees. **Biosystems Engineering**, v. 158, p. 1–9. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2017.03.010