

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**O PERÍODO DO DIA E A FACE DE EXPOSIÇÃO SOLAR
INFLUENCIAM NO DESPRENDIMENTO DOS FRUTOS DE
CAFÉ?**

**João de Deus Godinho Júnior
Engenheiro Agrônomo**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**O PERÍODO DO DIA E A FACE DE EXPOSIÇÃO SOLAR
INFLUENCIAM NO DESPRENDIMENTO DOS FRUTOS DE
CAFÉ?**

João de Deus Godinho Júnior

Orientador: Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva

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

2021

G585p Godinho Junior, João de Deus
O período do dia e a face de exposição solar influenciam no desprendimento dos frutos de café? / João de Deus Godinho Junior. -- Jaboticabal, 2021
72 p. : tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientador: Rouverson Pereira da Silva

1. Agricultura. 2. Máquinas Agrícolas. 3. Colheita mecanizada seletiva. 4. Controle de qualidade. 5. Coffea arabica. 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.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: O PERÍODO DO DIA E A FACE DE EXPOSIÇÃO SOLAR INFLUENCIAM NO DESPRENDIMENTO DOS FRUTOS DE CAFÉ?

AUTOR: JOÃO DE DEUS GODINHO JUNIOR

ORIENTADOR: ROUVERSON PEREIRA DA SILVA

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



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



Prof. Dr. ALBERTO CARVALHO FILHO (Participação Virtual)
Campus Rio Paranaíba-UFV / Rio Paranaíba/MG



Dr. TIAGO OLIVEIRA TAVARES (Participação Virtual)
C3 Consultoria e Pesquisa / Araxá/MG



Prof. Dr. WESLEY ESDRAS SANTIAGO (Participação Virtual)
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri-UFVJM / Unaí/MG



Prof. Dra. ELIZABETH HARUNA KAZAMA (Participação Virtual)
UNIFRAN / Franca/SP

Jaboticabal, 22 de Junho de 2021

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

João de Deus Godinho Júnior, nascido no dia 29 de junho de 1993 na cidade de Carmo do Paranaíba, no estado de Minas Gerais, filho de João de Deus Godinho e Ana Lopes Rosa Godinho. No ano de 2010 concluiu o Ensino Médio na Escola Estadual Professor José Hugo Guimarães, na cidade de Carmo do Paranaíba-MG. Iniciando no ano de 2011, o Curso de Engenharia Agrônoma pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Onde, foi bolsista de iniciação científica na área de Mecanização Agrícola, com ênfase em Tecnologia de Aplicação de Agrotóxicos e membro do Grupo de Pesquisas em Mecanização Agrícola - GPMA. Realizou trabalhos e publicações nesta área. Submeteu-se e, foi aprovado na defesa do Trabalho de Conclusão do Curso em setembro de 2015. Em 2016, graduou-se Engenheiro Agrônomo pela UFV, iniciando neste mesmo ano, o curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal pela UFV. Onde, ministrou aulas e minicursos, além de publicar artigos e resumos na área de Mecanização Agrícola, com ênfase em Tecnologia de Aplicação de Agrotóxicos. O título de Mestre, foi obtido em 20 fevereiro de 2018. No mesmo ano, ingressou no curso de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), na Universidade Estadual Paulista (UNESP), integrando o Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola (LAMMA), onde, desenvolveu e realizou trabalhos na área de Mecanização Agrícola, com ênfase na qualidade das operações agrícolas mecanizadas, submeteu-se à defesa de Tese em 22 de junho de 2021.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela saúde, força e fé, sem isso nada é possível.

À toda minha família, que sempre me apoiou em todos os momentos, em especial, à minha mãe, que teve total dedicação à minha educação, não medindo esforços, para que eu pudesse me qualificar.

Ao Professor Rouverson, que além de meu orientador, foi um grande pai na pós-graduação, sempre buscando o melhor para seus orientandos, dando total suporte, retirando as pedras do caminho, resolvendo e auxiliando ao máximo, não somente seus filhos, mas todos, na solução de problemas e no crescimento pessoal. Sou muito grato pela amizade, as várias e ótimas conversas que tivemos, os caldos quentes, os frangos fritos, as pizzas e as cervejas. O senhor é um orientador excepcional, que orienta verdadeiramente, com muito conhecimento, amor e emoção.

À Universidade Estadual Paulista – UNESP, Câmpus de Jaboticabal e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal).

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

Ao Dr. Tiago Oliveira Tavares que contribuiu com diversas orientações técnicas, além de um grande amigo, é uma pessoa e profissional pelo qual tenho grande admiração.

Aos grandes parceiros que ajudaram na realização do experimento em campo: Bruno Rocca de Oliveira, Jarlyson Brunno Costa Souza, Watus Cleigson Alves da Costa, Gustavo Moraes, Natália Silva, Cristiano Castro, e Alvaro Carvalho.

Todo o pessoal da Fazenda Gaúcha em Presidente Olegário – MG, em especial, ao Nelson Luiz Tavares e a Vanilda Andrade de Oliveira Tavares, que deram total apoio na realização do experimento.

Ao Departamento de Engenharia e Ciências Exatas (DECEX) e a todos os seus funcionários, principalmente ao Maranhão e ao Davi, pela ajuda e boa vontade.

Aos Professores do Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola (LAMMA) Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani e Dr. Cristiano Zerbato.

Aos membros da banca examinadora da defesa de tese: Prof. Dr. Alberto Carvalho Filho; Profa. Dra. Elizabeth Haruna Kazama; Prof. Dr. Wesley Esdras Santiago; Dr. Tiago Oliveira Tavares; Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva, pela atenção e imensa contribuição na correção e finalização deste trabalho.

Aos colegas e amigos: Alex Rangel Gonzaga, Cíntia de Melo Gomes, Paulo Sérgio Cordeiro Junior, Danilo Tedesco de Oliveira, Luan Pereira de Oliveira, Rafael De Graaf Corrêa, Aline Spaggiari Alcântara, Lucas Caixeta Vieira, Carlos Diego da Silva, Mailson Freire de Oliveira, Jean Lucas Pereira Oliveira, Marcelo Rodrigues Barbosa Júnior, Luiz Otávio Duarte Silva, Edward Victor Aleixo, Maria Albertina Monteiro dos Reis, Francisca Edcarla de Araujo Nicolau, Letícia Bernabé Santos, Franciele Morlin Carneiro, Elizabeth Haruna Kazama, Samira Luns Hatum de Almeida, e Francielle Morelli Ferreira, pela amizade, incentivo e ajuda.

À grande família de amigos da República Toca Fogo: Adão Felipe dos Santos, Edgard Henrique Costa Silva, Emmanuel Moreira Pereira, Armando Lopes de Brito Filho, e Anderson Formiga, onde, fui muito bem recebido.

Meu muito obrigado!!!

SUMÁRIO

RESUMO -	iii
ABSTRACT	iv
LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE FIGURAS	vii
CAPÍTULO 1 – Considerações gerais	1
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	2
3 REFERÊNCIAS	7
CAPÍTULO 2 - A maturação e a luz solar afetam a variabilidade da força de desprendimento dos frutos de café ao longo do dia?	10
1 INTRODUÇÃO	11
2 MATERIAL E MÉTODOS	12
2.1 Estatística descritiva	16
2.2 Controle Estatístico de Qualidade.....	16
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
3.1 Estatística descritiva	18
3.2 Gráficos sequenciais.....	22
3.3 Cartas de controle.....	26
4 CONCLUSÕES	30
5 Agradecimentos	30
6 REFERÊNCIAS	30
CAPÍTULO 3 - Qual o melhor período do dia para realizar a colheita mecanizada seletiva dos frutos de café?	33
1 INTRODUÇÃO	34
2 MATERIAL E MÉTODOS	35
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4 CONCLUSÕES	45
5 Agradecimentos	45
6 REFERÊNCIAS	45

CAPÍTULO 4 - Qualidade da colheita mecanizada do café conforme a face de exposição solar e o período do dia.....	48
1 INTRODUÇÃO	49
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	50
2.1 Estatística descritiva	55
2.2 Controle Estatístico de Qualidade.....	55
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
3.1 Estatística descritiva	57
3.2 Gráficos sequenciais.....	59
3.3 Cartas de controle.....	62
4 CONCLUSÕES	68
5 Agradecimentos.....	68
6 REFERÊNCIAS	68
CAPÍTULO 5 – Considerações finais	71

O PERÍODO DO DIA E A FACE DE EXPOSIÇÃO SOLAR INFLUENCIAM NO DESPRENDIMENTO DOS FRUTOS DE CAFÉ?

RESUMO - A colheita mecanizada seletiva do café agrega mais qualidade à produção, e conseqüentemente, aumenta o valor de sua comercialização. No entanto, a eficiência desta operação está ligada diretamente à força necessária para o desprendimento dos frutos verdes e maduros do cafeeiro. Objetivou-se por meio deste trabalho avaliar a força de desprendimento dos frutos de café e a qualidade da colheita mecanizada, conforme, o período do dia, o estágio de maturação dos frutos e a face de exposição das plantas à luz solar. O experimento foi realizado nas safras 2018/2019 e 2019/2020, em lavoura de café comercial (Catuaí Vermelho IAC 144), implantada no alinhamento sentido Leste-Oeste e irrigada por pivô central, localizada no município de Presidente Olegário – MG. A força de desprendimento foi avaliada durante a colheita, conforme o estágio de maturação dos frutos, o período do dia, e a face de exposição solar Norte e Sul, as quais, possuíam maior e menor incidência solar ao longo do ano, respectivamente. Utilizou-se dinamômetro digital portátil para mensuração da força de desprendimento, avaliada com 36 repetições. Os dados foram analisados por meio de análise descritiva, Controle Estatístico de Qualidade (CEQ), análise de variância e quando significativo, aplicou-se teste de Tukey, ambos a 5% de probabilidade. Já, a qualidade da colheita mecanizada foi mensurada, no período da manhã e da tarde, e conforme a face de exposição solar (Norte e SUL), avaliando-se a produtividade da lavoura, a eficiência de colheita e de limpeza da colhedora, o percentual de café caído no chão e remanescente nas plantas, além dos danos e o índice de maturação da carga inicial, do café colhido, do remanescente e do caído. O período do dia, a face de exposição solar e estágio de maturação influenciam o comportamento da força de desprendimento dos frutos de café. Os frutos no estágio cereja apresentam menor força de desprendimento e menor variação desta no período da tarde, sendo este momento o mais favorável do ponto de vista da qualidade do processo para a realização da colheita mecanizada seletiva. A face de exposição solar do cafeeiro e o índice de maturação de seus frutos têm maior influência na qualidade do processo de colheita mecanizada, em comparação ao período do dia. A face com maior exposição solar anual, e conseqüentemente com maior carga inicial, está sujeita a maiores danos durante o processo de colheita mecanizada. Para o maior tempo de exposição das plantas a colhedora, além de aumentar os danos, reduz a eficiência do processo do sistema de limpeza.

Palavras-chave: *Coffea arabica*, colheita mecanizada seletiva, controle de qualidade, mecanização agrícola, estádios de maturação, variabilidade.

DO THE DAY PERIOD AND THE SUN EXPOSURE FACE INFLUENCE THE MECHANIZED HARVEST OF THE COFFEE?

ABSTRACT - The selective mechanized harvesting of coffee adds more quality to the production and increases the value of its commercialization. However, the efficiency of this operation is directly linked to the strength required to shed the green and ripe fruits of the coffee tree. The objective of this work was to evaluate the strength of the coffee fruits and the quality of the mechanized harvest, according to the period of the day, the stage of maturation of the fruits and the face of sunlight exposure of the plants. The experiment was carried out in the 2018/2019 and 2019/2020 harvests, in a commercial coffee plantation (Red Catuaí IAC 144), implanted in the east-west alignment and irrigated by a central pivot, located in the municipality of Presidente Olegário – MG, Brazil. The detachment force was evaluated during harvest period, according to the stage of ripening of the fruits, the period of the day, and the North and South sun exposure face, which had greater and lesser solar incidence throughout the year, respectively. A portable digital dynamometer was used to measure the detachment force, assessed with 36 repetitions. The data were analyzed using descriptive analysis, Statistical Quality Control (SQC), analysis of variance and when significant, Tukey's test was applied, both at 5% probability. The quality of the mechanized harvest, on the other hand, was measured, in the morning and in the afternoon, and according to the face of sun exposure (North and South), evaluating the crop yield, the harvesting and cleaning efficiency of the harvester, the percentage of coffee falling on the ground and remaining coffee in the plants, in addition to the damage and the fruit maturation index before harvest, the harvested coffee, the remainder and the fallen coffee. These variables were analyzed using descriptive analysis and SQC. The period of the day, the face of sun exposure and the stage of maturation influence the behavior of the detachment force of coffee fruits. The fruits in the cherry stage show less detachment force and this variation in the late afternoon, this moment being the most favorable from the point of view of the quality of the process for the accomplishment of the selective mechanized harvest. The face of sun exposure of the coffee tree and the maturity index of its fruits have a greater influence on the quality of the mechanized harvesting process, compared to the period of the day. The face with the highest annual sun exposure, and consequently with the highest initial amount of coffee, is subject to greater damage during the mechanized harvesting process. The longer exposure time of the plants to the harvester, in addition to increasing the damage, reduces the efficiency of the cleaning system process.

Keywords: *Coffea arabica*, selective mechanized harvesting, quality control, agricultural mechanization, maturation stages, variability.

LISTA DE TABELAS**CAPÍTULO 2 10**

Tabela 1. Condições climáticas durante as avaliações da força de desprendimento dos frutos de café nas safras 2018/2019 e 2019/2020	16
Tabela 2. Estatística descritiva dos parâmetros relacionados a força de desprendimento (N) dos frutos de <i>C. arabica</i> na safra 2018/2019	19
Tabela 3. Estatística descritiva dos parâmetros relacionados a força de desprendimento (N) dos frutos de <i>C. arabica</i> na safra 2019/2020	20
Tabela 4. Valores de probabilidade para verificação da ocorrência de padrões relacionados à força de desprendimento dos frutos de <i>C. arabica</i> na safra 2018/2019	23
Tabela 5. Valores de probabilidade para verificação da ocorrência de padrões relacionados à força de desprendimento dos frutos de <i>C. arabica</i> na safra 2019/2020	24

CAPÍTULO 3 33

Tabela 1. Condições climáticas durante as avaliações da força de desprendimento dos frutos de café nas safras 2018/2019 e 2019/2020	39
Tabela 2. Análise de variância da força de desprendimento de frutos de <i>C. arabica</i> para efeitos principais e interações das face de exposição solar, dos estádios de maturação e dos períodos do dia na safra 2018/2019.....	40
Tabela 3. Análise de variância da força de desprendimento de frutos de <i>C. arabica</i> para efeitos principais e interações das face de exposição solar, dos estádios de maturação e dos períodos do dia na safra 2019/2020.....	41
Tabela 4. Força de desprendimento (N) dos frutos de <i>C. arabica</i> de acordo com o período do dia e a face de exposição solar na safra 2018/2019.....	41

Tabela 5. Força de desprendimento (N) dos frutos de <i>C. arabica</i> de acordo com o período do dia e o estágio de maturação na safra 2018/2019	42
Tabela 6. Força de desprendimento (N) dos frutos de <i>C. arabica</i> de acordo com a face de exposição solar e o estágio de maturação na safra 2019/2020 ...	42
Tabela 7. Força de desprendimento (N) dos frutos de <i>C. arabica</i> de acordo com o período do dia e o estágio de maturação na safra 2019/2020	43

CAPÍTULO 4

48

Tabela 1. Estatística descritiva dos parâmetros relacionados a qualidade da colheita mecanizada dos frutos de <i>C. arabica</i>	58
Tabela 2. Valores de probabilidade para verificação da ocorrência de padrões relacionados a qualidade da colheita mecanizada dos frutos de <i>C. arabica</i>	60

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2	10
Figura 1. Área experimental em Presidente Olegário - MG.....	12
Figura 2. Faces de exposição solar da lavoura avaliada no momento da colheita no dia 29/05/2020 às 10:08 da manhã	13
Figura 3. Carta solar da localização da lavoura avaliada	13
Figura 4. Esquema dos terços das plantas avaliados	14
Figura 5. Mensuração da força de desprendimento dos frutos de café utilizando um dinamômetro digital portátil.....	15
Figura 6. Cartas de controle individual e de amplitude móvel dos períodos do dia, exposição solar e estádios de maturação na força de desprendimento de frutos de <i>C. arabica</i> na safra 2018/2019	27
Figura 7. Cartas de controle individual e de amplitude móvel dos períodos do dia, exposição solar e estádios de maturação na força de desprendimento de frutos de <i>C. arabica</i> na safra 2018/2019.	28
CAPÍTULO 3	33
Figura 1. Área experimental em Presidente Olegário – MG, 2020	36
Figura 2. Faces de exposição solar da lavoura avaliada no dia 29/05/2020 às 10:08 da manhã.....	36
Figura 3. Carta solar da localização da lavoura avaliada	37
Figura 4. Esquema dos terços das plantas avaliados	38
Figura 5. Mensuração da força de desprendimento dos frutos de café utilizando um dinamômetro digital portátil.....	38

Figura 6. Média da força de desprendimento dos frutos cereja conforme o período do dia nas safras 2018/2019 (A) e 2019/2020 (B)	44
---	----

CAPÍTULO 4

48

Figura 1. Área experimental em Presidente Olegário – MG, 2020.....	50
Figura 2. Carta solar da localização da lavoura avaliada	51
Figura 3. Faces de exposição solar da lavoura avaliada no dia 29/05/2020 às 10:08 da manhã.....	52
Figura 4. Cartas de controle individual e de amplitude móvel da eficiência de colheita (A), índice de maturação (B), danos (C) e eficiência de limpeza da colhedora (D) em duas safras consecutivas.....	63
Figura 5. Cartas de controle individual e de amplitude móvel da produtividade da lavoura (A), café remanescente (B) e café caído (C) em duas safras consecutivas	64

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

1 INTRODUÇÃO

A cultura do café é uma das principais commodities agrícolas mundiais, possuindo importância estratégica para o agronegócio brasileiro. Dentro das etapas da cadeia produtiva cafeeira, a operação de colheita dos seus frutos, tem grande peso no potencial da qualidade final da produção. Neste sentido, a colheita mecanizada seletiva tem se tornado estratégia de bons resultados, em que, se busca colher o maior percentual possível dos frutos no estágio de maturação cereja, os quais, produzem as melhores bebidas.

Porém, para aumentar a eficiência desta operação, o estudo da força exigida para o destacamento dos frutos do cafeeiro, é fundamental. Esta variável, além de ser influenciada pelo grau de maturação da lavoura, varia conforme uma série de fatores ambientais. Por meio, da avaliação do comportamento da força de desprendimento, é possível, gerar informações relevantes para os cafeicultores tomarem a decisão, de qual é, o momento mais adequado para realizar a colheita mecanizada, aumentando assim, a eficiência de todo o seu processo produtivo.

Com esta maior eficiência, será possível produzir café de melhor qualidade, o que consequentemente aumentará o retorno econômico da atividade aos produtores. Desta forma, sob o ponto de vista social, a maior geração de renda permitirá maior circulação de recursos financeiros, aquecendo a economia em municípios produtores de café e, consequentemente, possibilitando maiores recursos a outras camadas da população.

No campo técnico-científico e de inovação, este estudo pode representar avanço significativo na gestão da colheita seletiva nas propriedades cafeeiras, ao proporcionar a otimização desta operação, possibilitando a aplicação de técnicas do controle estatístico de qualidade no meio rural. Desta forma, este trabalho objetivou avaliar a força de desprendimento dos frutos de café e a qualidade da colheita mecanizada, conforme, o período do dia, o estágio de maturação dos frutos e à face de exposição a luz solar das plantas.

Esta tese encontra-se estruturada em 5 capítulos: no capítulo 1 encontram-se inseridas as considerações gerais, abrangendo a introdução e revisão bibliográfica

que embasou técnica e cientificamente o trabalho desenvolvido. No capítulo 2 é apresentado o estudo de como a maturação e a luz solar afetam a variabilidade da força de desprendimento dos frutos de café.

No terceiro capítulo é averiguado se existe melhor período do dia para realização da colheita mecanizada seletiva do café, enquanto que no capítulo 4 são apresentados os resultados sobre a qualidade da colheita mecanizada de café ao longo do dia, levando-se em consideração a face de exposição solar. Por fim, no capítulo 5 são apresentadas as considerações finais do trabalho, sintetizando os resultados obtidos na tese apontando algumas diretrizes para trabalhos futuros.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O Brasil é o maior produtor e exportador de café, com aproximadamente um terço da produção mundial, sendo que, em torno de 60% desta produção é exportada, representando mais de 30% de participação no comércio internacional (Kist e Beling, 2020). Para a próxima safra (2020/2021), espera-se colher no Brasil, um total de mais de 46 mil sacas beneficiadas de café, sendo que, cerca de 67% destas serão de café arábica e o restante, 33% de café conilon (Conab, 2021). Dados deste mesmo autor, mostram que, mais de 80% das lavouras de café no Brasil, possuem implantadas em suas áreas variedades de café arábica, destacando-se o estado de Minas Gerais, onde se localiza quase 71% deste total.

A cultura do café apresenta elevado custo de produção, assim, o seu processo de colheita se torna operação complexa, pois, é a etapa que o produtor quantifica o retorno de seu investimento, retirando a sua produção do campo. Com a redução da disponibilidade de mão de obra e conseqüente aumento de seu custo, os produtores de café buscaram aplicar e intensificar a mecanização de suas operações agrícolas (Silva et al., 2003).

Assim, a mecanização se tornou comum em toda a cadeia produtiva do café, principalmente no processo de colheita, o qual, possui maior percentual representativo dentro dos custos de produção (Lanna e Reis, 2012). Por ser cultura perene, qualquer fator que influencie o estabelecimento e desenvolvimento do cafeeiro resultará em maior ou menor produção, ao longo da vida útil da lavoura. Isto, pode ser observado pelos danos causados durante a colheita, em que, as

alterações negativas em resposta a estes, são observadas nas safras seguintes (Santinato et al., 2015b).

Na colheita mecanizada, a colhedora pode ser automotriz ou tracionada por trator, mas, em ambos os casos, estas máquinas operam envolvendo as linhas das plantas e passando sobre estas. O processo de desprendimento dos frutos é realizado por hastes de fibra de vidro, as quais, são fixadas em dois rolos verticais, passando um de cada lado da planta. As hastes trabalham realizando movimentos vibratórios, derruçando os frutos por contato direto ou indireto, pela vibração de todo o dossel do cafeeiro (Matiello et al., 2005).

Na etapa seguinte, os frutos destacados das plantas caem sobre duas esteiras, localizadas na parte mais inferior da máquina, uma de cada lado. Durante este processo, lâminas retrateis se abrem em torno do tronco do cafeeiro, envolvendo este, e reduzindo a queda de frutos no solo (Oliveira et al., 2007). Os frutos de café então, são transportados pelos elevadores da colhedora, onde, os frutos são abanados, e em seguida armazenados em depósito na própria máquina, ou lançados à granel em um sistema de transporte auxiliar que auxilia no transporte para a estrutura de pós-colheita.

De forma geral, o processo de colheita mecanizada é influenciado principalmente pela estrutura, a forma e a dimensão das plantas, além das características dos frutos que serão colhidos (Srivastava et al., 2005). Desta forma, as características arquitetônicas variáveis do cafeeiro e a desuniformidade de maturação de seus frutos, são os dois principais entraves que diminuem a qualidade da colheita mecanizada do café (Souza et al., 2002). Ademais, para a avaliação desta operação de colheita, existem aspectos que são de extrema importância, pois, por meio deles, é possível mensurar a qualidade do processo, estes parâmetros são o volume de café caído no solo, o remanescente na planta, o colhido, e os danos ao cafeeiro (Santinato et al., 2014, 2015a).

Além da mecanização, a fisiologia do cafeeiro também possui grande influência nos aspectos qualitativos da safra, que está sendo produzida. Para a tomada de decisão, de dar início ou não a colheita, deve-se considerar principalmente o grau de maturação dos frutos da lavoura. Evitando-se colher frutos em estádios de maturação imaturos ou avançados, pois, frutos secos, caem

facilmente no solo durante o processo de colheita (Ciro, 2001) e juntamente com os verdes, contribuem negativamente com a qualidade da produção final.

Assim, é fundamental, colher o maior percentual de frutos no estágio de maturação cereja, por estes produzirem as melhores bebidas de café (Arruda et al., 2011). Esta colheita seletiva pode ser realizada utilizando-se o próprio princípio de derriça por vibração, empregado no sistema da colhedora. No qual, por meio de regulagens, combinando a vibração das hastes e a velocidade de trabalho da máquina, é possível realizar a retirada seletiva dos frutos cerejas do cafeeiro, mantendo neste ainda os frutos verdes para serem colhidos futuramente (Silva et al., 2009).

Desta forma, pode-se efetuar o planejamento da colheita, para realizar uma segunda passada, quando estes frutos verdes estiverem então maduros. Assim, é realizada mais de uma operação mecanizada de colheita, nas quais, são empregadas menores vibrações das hastes da colhedora e maior velocidade de trabalho, isto, reduz drasticamente os danos causados a lavoura, além de, aumentar o rendimento operacional (Silva et al., 2015b).

Porém, o sucesso desta colheita seletiva está diretamente relacionado a força de desprendimento dos frutos verdes e cerejas (Silva et al., 2013). Ao decorrer da maturação dos frutos, a atividade de enzimas e à ação de espécies reativas de oxigênio, são responsáveis pela degradação e afrouxamento da parede celular, resultando na redução da força exigida para o seu desprendimento da planta (Brandão et al., 2016). Ademais, para a retirada dos frutos verdes do cafeeiro, é exigida maior força, em comparação aos frutos cerejas (Crisosto e Nagao, 1991).

Durante o período de colheita, a força de desprendimento dos frutos verdes é de 2,10 a 3,85 N maior que a dos frutos maduros (Silva et al., 2010). Assim, para a colheita plena (uma operação da colhedora), é necessário maior tempo de exposição e/ou vibração das hastes da colhedora, transferindo desta forma, elevada energia para o dossel da planta. Em que, o processo de desprendimento acontece quando as forças inerciais, em função ao movimento no fruto, ficam maiores do que a força de tração necessária para destacar os frutos da planta (Parchomchuk e Cooke, 1971).

Desta forma, deve-se ter atenção durante a regulação da máquina, pois, quanto maior o tempo de exposição das plantas à colhedora, maiores serão os danos causados às plantas (Silva et al., 2015a). Os danos causados ao cafeeiro durante a colheita, reduzem a produtividade da lavoura na safra seguinte, pois as plantas destinarão parte de suas reservas para a recomposição do seu dossel, além de causar menor frutificação, a ocorrência de danos frequentes ao cafeeiro pode causar a redução da sua longevidade.

A força necessária para o destacamento dos frutos do cafeeiro varia conforme: a variedade de café (Silva et al., 2010 e 2013; Santos et al., 2010); a fertilidade e o teor de água no solo (Silva et al., 2016); localização geográfica do cafezal (Ferraz, 2012; Figueiredo et al., 2017); ao decorrer da janela de colheita (Barros et al., 2018); e conforme a intensidade luminosa que as plantas estão submetidas. Quando na lavoura de café, uma das faces das plantas possui maior incidência solar, pode ocorrer, aumento da produtividade deste lado, em comparação ao outro que é menos iluminado pelo Sol (Alves, 2005).

Esta discrepância ocorre, por causa da maior assimilação de carbono e produção de flores, em vez de brotos vegetativos, o que, aumenta o número de nós formados por ramo e de brotos florais nos nós existentes (DaMatta, 2004). Por outro lado, a maior produção de frutos nas plantas tem maior requerimento energético, o qual, reduz a energia disponível para manter os frutos, conseqüentemente, pode ocorrer redução da força exigida para o desprendimento destes (Amaral et al., 2006; Figueiredo et al., 2017).

Avaliando a força de desprendimento de oito progênies, resultantes do cruzamento entre as variedades catuaí vermelho IAC 141 com híbridos de timor, e de catuaí amarelo IAC 86 com híbridos de timor, constatou-se que, a força de desprendimento dos frutos é comportamento intrínseco a de cada progênie, não sofrendo grande alterações ao decorrer dos anos (Silva et al, 2013). Segundo estes mesmos autores, quando se compara as progênies, as que exigem as maiores forças para o desprendimento de seus frutos no início da colheita, mantem esta característica ao decorrer da janela de colheita do café, em relação as demais progênies.

Comparando-se ao longo da colheita (início, meio e fim de safra), as cultivares mundo novo IAC 376/4, catuaí vermelho IAC 99 e icatú amarelo IAC 3282, foi observado menor força de desprendimento dos frutos cerejas nas variedades catuaí e mundo novo, que também, apresentaram as maiores diferenças entre a força exigida para o destacamento de frutos verdes e cerejas, em relação a variedade icatú (Silva et al., 2010). Estes mesmos autores citam que, o fato desta cultivar possuir maior força de desprendimento, pode ser resultante da sua origem, que se deu pela hibridação entre a cultivar robusta (*Coffea canephora*) com a bourbon vermelho, com retrocruzamento para o Mundo Novo.

Em relação à fertilidade e ao teor de água no solo, a aplicação de maiores doses de fertilizantes aliada a irrigação da lavoura, favorecem a colheita mecanizada seletiva do café, de forma que, nestas condições, a diferença entre a força de desprendimento de frutos verdes e cerejas é maior, em relação, a lavoura de sequeiro com taxas menores de adubação (Silva et al., 2016). Estes mesmos autores, demonstram a importância do correto manejo da adubação e irrigação das lavouras de café, para que se tenha maior eficiência no seu processo de colheita mecanizada.

Ademais, a própria variabilidade espacial dos atributos do solo das lavouras cafeeiras, contribui com a variação da força de desprendimento dos frutos de café. Avaliando-se a variabilidade espacial da força exigida para o destacamento dos frutos verdes e cereja do cafeeiro, foi averiguado que, esta variável apresenta faixas semelhantes de correlação espacial, para estes dois estádios de maturação (Figueiredo et al., 2017). Desta forma, estes autores, levantam a hipótese que o alcance espacial da força de destacamento dos frutos de café não tem relação com o grau de maturação dos frutos.

Outro ponto interessante, é a variação existente da força de desprendimento para cada estádio de maturação do café ao longo do seu período de colheita. No qual, de acordo com cada lavoura, existe o momento em que a diferença exigida para a retirada dos frutos verdes e cerejas atingirá valor máximo, sendo assim, o momento ideal para realizar a colheita mecanizada seletiva (Barros et al., 2018).

Assim, o estudo do processo de desprendimento dos frutos de café, é grande fonte de informações que contribui com novas estratégias que fortalecem o setor

cafeeiro, aumentando sua competitividade e seu crescimento econômico. Ademais, a valorização do café em função de seus parâmetros qualitativos, aumenta cada vez mais a exigência de maior eficiência no seu processo de colheita, exigindo assim, a realização de novos estudos para a criação e viabilização do emprego de novas tecnologias na cafeicultura.

3 REFERÊNCIAS

Alves EA (2005) **Análise da variabilidade espacial da qualidade do café cereja produzido em região de montanha**. 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

Amaral JAT, Rena AB, Amaral JFT (2006) Crescimento vegetativo sazonal do cafeeiro e sua relação com fotoperíodo, frutificação, resistência estomática e fotossíntese. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 41:377-384.

Arruda NP, Hovell AMC, Rezende CM, Freitas SP, Couri S, Bizzo HR (2011) Discriminação entre estádios de maturação e tipos de processamento de pós-colheita de cafés arábica por microextração em fase sólida e análise de componentes principais. **Química Nova** 34:819-824.

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** 22:366-370.

Brandão IR, Silva DM, Souza KRD, Boas LVV, Santos MO, Silva FM, Alves JD (2016) Physiological and ultrastructural analysis reveal the absence of a defined abscission zone in coffee fruits. **Bragantia** 75:386-395.

Ciro HJV (2001) Coffee harvesting I: Determination of the natural frequencies of the fruit stem system in coffee trees. **Applied Engineering in Agriculture** 17:475-479.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento (2021). Acompanhamento da safra brasileira: café, safra 2021, janeiro/2021. Brasília: Conab, 71p. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/35523_38fae3bc88d9b5f875d991b8be1490da>

Crisosto CH, Nagao MA (1991) Evaluation of Fruit Removal Force of Coffee Cultivars. **HortScience** 26:210-230.

DaMatta FM (2004) Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: A review. **Field Crops Research** 86:99-114.

Ferraz GAS (2012) **Cafeicultura de precisão: malhas amostrais para o mapeamento de atributos do solo, da planta e recomendações**. 129 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

Figueiredo VC, Ferraz GAS, Silva FM, Conceição FG, Carvalho LCC (2017) Analysis of spatial variability of force detachment of coffee fruits in central pivot. **Coffee Science** 12:84-92.

Kist BB, Beling RR (2020) Anuário brasileiro do café 2020. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 88p.

Lanna GBM, Reis PR (2012) Influência da mecanização da colheita na viabilidade econômico-financeira da cafeicultura no sul de Minas Gerais. **Coffee Science** 7:110-121.

Matiello JB, Santinato R, Garcia AWG, Almeida SR, Fernandes DR (2005) Cultura de café no Brasil: Novo Manual de Recomendações. Varginha: MAPA/PROCAFÉ, 408p.

Oliveira E, Silva FM, Zigomar MS (2007) Influência da colheita mecanizada na produção cafeeira. **Ciência Rural** 37:1466-1470.

Parchomchuk P, Cooke JR (1971) Vibratory fruit harvesting: an experimental analysis of fruit-stem dynamics. **Transactions of the ASAE** 15:598-603.

Santinato F, Ruas RAA, Silva RP, Carvalho Filho A, Santinato R (2015a) Análise econômica da colheita mecanizada do café utilizando repetidas operações da colhedora. **Coffee Science** 10:402-411.

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

Santinato F, Silva RP, Santinato R, Gonçalves VA, Vieira LC (2015b) Influência produtiva no cafeeiro, a longo prazo, em função de tipos de colheita (manual e mecanizada com até seis passadas da colhedora). In: 42º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, **Anais eletrônicos...** Poços de Caldas: Fundação Procafé, 2015. Disponível em: <<http://www.sbicafe.ufv.br:80/handle/123456789/7362>>. Acesso em: 08 abr. 2021.

Santos FL, Queiroz DM, Pinto FDAC, Santos NT (2010) Analysis of the coffee harvesting process using an electromagnetic shaker. **Acta Scientiarum Agronomy** 32:373-378.

Silva FM, Arré TJ, Tourino ES, Gomes TS, Alves MC (2009) Use of ethrel on the mechanized and selective coffee (*Coffea arabica* L.) harvest. **Coffee Science** 4:178-182.

Silva FM, Salvador N, Rodrigues RF, Tourino ES (2003) Avaliação da colheita do café totalmente mecanizada. **Engenharia Agrícola** 23:309-315.

Silva RP, Santinato F, Tavares TO, Santinato R (2015a) Cartilha LAMMA do produtor rural: Colheita mecanizada do café. Jaboticabal: SBEA, 32p.

Silva FC, Silva FM, Alves MC, Barros MM, Sales RS (2010) Comportamento da força de desprendimento dos frutos de cafeeiros ao longo do período de colheita. **Ciência e Agrotecnologia** 34:468-474.

Silva FC, Silva FM, Sales RS, Alves MC, Ferraz GAS, Sales RS (2015b) Efficiency of coffee mechanical and selective harvesting in different vibration during harvest time. **Coffee Science** 10:56–64.

Silva FC, Silva FM, Scalco MS, Sales RS (2016) Correlação da força de desprendimento dos frutos em cafeeiros Sob diferentes condições nutricionais. **Coffee Science** 11:169-179.

Silva FC, Silva FM, Silva AC, Barros MM, Palma MAZ (2013) Operacional performance of mechanically harvested coffee and selectivity in accordance to force detachment of fruit. **Coffee Science** 8:53-60.

Souza CMA, Queiroz DM, Pinto FAC, Corrêa PC (2002) Derrixa de frutos de café por vibração. **Revista Brasileira de Armazenamento** 27:32-37.

Srivastava AK, Goering CE, Rohrbach RP, Buckmaster DR (2005) Engineering principles of agricultural machines. 2ed. Michigan: ASAE, 604p.

CAPÍTULO 2 - A maturação e a luz solar afetam a variabilidade da força de desprendimento dos frutos de café ao longo do dia?

Resumo – O processo de desprendimento dos frutos do cafeeiro influencia diretamente a eficiência da colheita mecanizada seletiva, na qual, a busca por maior qualidade desta operação impõe a necessidade de variações nas regulagens da colhedora. Objetivou-se por meio deste trabalho avaliar o comportamento da força de desprendimento dos frutos de café ao decorrer do dia, conforme o estágio de maturação e a face de exposição solar. As avaliações foram realizadas em duas safras - 2018/2019 e 2019/2020, em lavoura de café catuaí vermelho IAC 144, implantada no alinhamento sentido Leste-Oeste, em Presidente Olegário-MG/Brasil. As amostras foram coletadas seguindo as premissas do Controle Estatístico de Qualidade (CEQ), avaliando durante o período de colheita a força de desprendimento dos estádios de maturação dos frutos ao longo do dia nas faces de exposição solar Norte e Sul, com maior e menor incidência solar ao longo do ano, respectivamente. Foi utilizado dinamômetro digital portátil, com 36 repetições. Os dados foram avaliados por meio da estatística descritiva e CEQ. O período do dia e a face de exposição solar influenciam o comportamento da força de desprendimento dos frutos de café. A exposição solar reduz a força necessária para retirar os frutos do cafeeiro. Os frutos no estágio cereja apresentam menor força de desprendimento e variação desta no período da tarde, sendo este momento o mais favorável do ponto de vista da qualidade do processo para a realização da colheita mecanizada seletiva.

Palavras-chave: *Coffea arabica*, colheita mecanizada seletiva, controle estatístico de qualidade, estádios de maturação.

1 INTRODUÇÃO

Compreender o comportamento da força necessária para retirar os frutos do cafeeiro é fundamental na busca de maior eficiência na colheita mecanizada seletiva. Esta operação tem por objetivo colher o maior percentual possível de frutos maduros, deixando os verdes nas plantas para colheita futura. Desta forma, agregase maior valor ao produto, pois são os frutos no estágio de maturação cereja, que possibilitam a produção dos melhores cafés (Arruda et al., 2011).

Naturalmente, para a retirada dos frutos verdes da planta é necessária a utilização de maior força, o que facilita a realização da colheita seletiva (Crisosto e Nagao, 1991). Desta forma, a diferença entre a força de desprendimento de frutos verdes e cerejas é diretamente proporcional à eficiência da colheita mecanizada seletiva (Silva et al., 2013).

Por outro lado, a força de destacamento dos frutos de café é influenciada por fatores como: a variedade implantada na lavoura (Silva et al., 2010, 2013; Santos et al., 2010); o teor de água do solo e a sua fertilidade (Silva et al., 2016); a localização geográfica da lavoura (Figueiredo et al., 2017); o período da colheita (Barros et al., 2018); e a face de exposição solar (Cassia et al., 2013).

A maior incidência da radiação solar ao longo do ano em uma das faces do cafeeiro pode aumentar a produção em relação à face oposta, menos iluminada (Alves, 2005). No entanto, a maior produção de frutos pode reduzir a força necessária para o desprendimento destes e, em contrapartida, em safras de menor produção pode ocorrer o inverso (Amaral et al., 2006; Figueiredo et al., 2017).

Uma vez que o período da colheita pode influenciar a força necessária para o desprendimento dos frutos do cafeeiro, o CEQ, por possuir um conjunto de ferramentas que permitem monitorar a variabilidade dos indicadores de qualidade de um processo, pode ser utilizado para avaliar, ao longo do dia, o comportamento do processo de desprendimento dos frutos. Dentre as diversas ferramentas disponíveis no CEQ, os gráficos sequenciais e as cartas de controle possibilitam a visualização dos dados ao longo do tempo de forma sequencial, permitindo analisar o comportamento médio, a variabilidade e a estabilidade do processo (Barros e Milan, 2010; Voltarelli et al., 2013).

Desta forma, tem-se a hipótese que no momento da colheita o comportamento do processo de desprendimento dos frutos de café varia no decorrer do dia e conforme a face de exposição. Assim, objetivou-se neste trabalho avaliar a variabilidade da força de desprendimento dos frutos de café ao decorrer do dia, conforme o estágio de maturação e a face de exposição, bem como quantificar a diferença da força necessária para o desprendimento dos frutos nos estádios verde e cereja.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado durante o período de colheita das safras 2018/2019 no dia 29/05/2019 e 2019/2020 nos dias 31/05 e 01/06/2020, em lavoura comercial de café arábica irrigada por pivô central, localizada no município de Presidente Olegário, Minas Gerais, Brasil, próxima às coordenadas geográficas $18^{\circ}01'54.1''$ S, $46^{\circ}27'52.4''$ W (Figura 1), com altitude média de 883 m.



Figura 1. Área experimental em Presidente Olegário - MG (Fonte: Google Earth).

O clima da região é tropical com chuvas de verão, caracterizado por inverno mais seco, classificado como Aw (Peel et al., 2007) e com precipitação média anual de 1400 mm. A variedade de café da lavoura era a catuaí vermelho IAC 144, transplantada em dezembro de 2013, com espaçamento de 4,0 m entre linhas, 0,5 m entre plantas e alinhamento no sentido Leste-Oeste.

Foram analisados os períodos do dia, as faces de exposição solar da planta (Figura 2) e os estádios de maturação dos frutos, no momento da colheita. A trajetória aparente do sol na esfera celeste ao longo do ano para a latitude da

lavoura avaliada, demonstra que, a face das plantas voltada para o Norte recebe maior incidência solar em relação a face Sul (Figura 3).

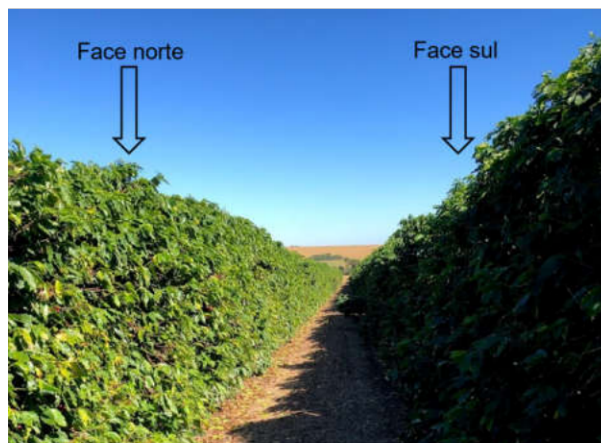


Figura 2. Faces de exposição solar da lavoura avaliada no momento da colheita no dia 29/05/2020 às 10:08 da manhã.

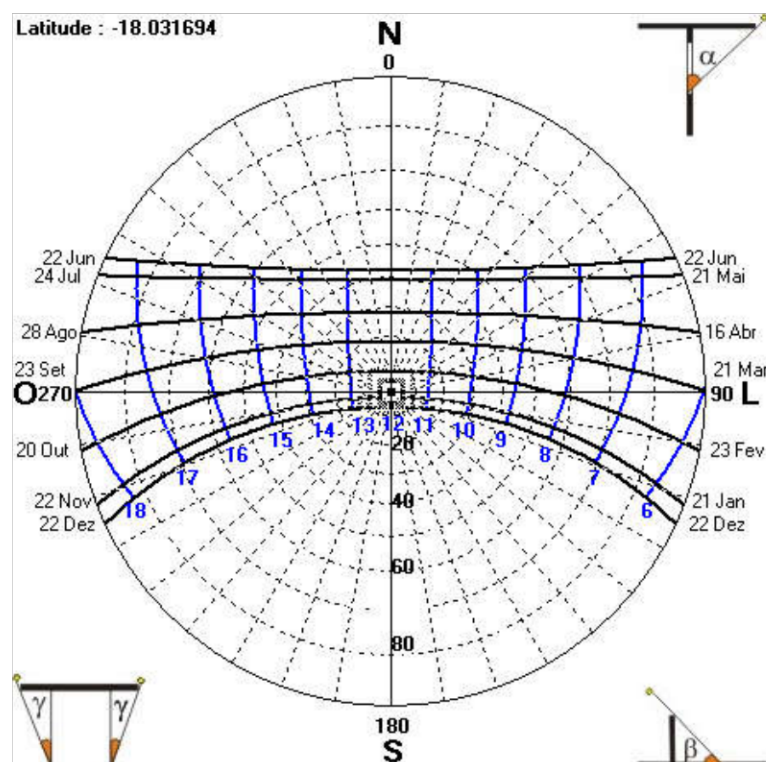


Figura 3. Carta solar da localização da lavoura avaliada (Fonte: Software Sol-Ar).

As amostras foram coletadas ao longo do tempo dentro de uma mesma gleba homogênea pré-selecionada, seguindo as premissas do CEQ (Silva et al., 2015). Sendo que, no primeiro ano (2018/2019), foram avaliados os períodos do dia: início

da manhã (7:30-8:30h); meio da manhã (9:30-10:30h); início da tarde (12:30-13:30h); meio da tarde (14:30-15:30h) e final da tarde (16:30-17:30h). As faces de exposição solar Norte-Sul e os estádios de maturação considerados verde; verde cana; cereja e seco.

Na safra seguinte (2019/2020), avaliou-se os períodos da manhã (09:00 - 10:00), tarde (15:00 - 16:00), noite (21:00 - 22:00) e madrugada (4:00 - 5:00), as duas faces (Norte e Sul) e os estádios: verde; cereja; seco. Pelo fato dos frutos no estágio de maturação verde cana não serem o objetivo da colheita seletiva e de seu comportamento já tem sido avaliado no ano anterior, nesta safra estes frutos não foram avaliados.

Em cada período do dia foram realizadas 36 repetições por tratamento, avaliando-se seis plantas, nas quais, foram amostrados dois frutos por estágio de maturação por terço das plantas: superior; médio; inferior (Figura 4).



Figura 4. Esquema dos terços das plantas avaliados.

Para a mensuração da força de desprendimento foi utilizado dinamômetro digital portátil da Instrutherm, modelo DD-500, com escala 0 a 49 N e resolução de 0,01 N (Figura 5).



Figura 5. Mensuração da força de desprendimento dos frutos de café utilizando dinamômetro digital portátil.

As condições climáticas foram monitoradas com termo higrômetro digital modelo HT-350, com $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$ (temperatura ambiente) e $\pm 5\%$ (umidade relativa) de precisão e resolução de $0,1^{\circ}\text{C}$ (temperatura) e $0,01\%$ (umidade). Durante a coleta das amostras foram mensuradas as médias de temperatura ambiente e umidade relativa do ar apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Condições climáticas durante as avaliações da força de desprendimento dos frutos de café nas safras 2018/2019 e 2019/2020.

Safra	Período do dia	Face de exposição solar	Temperatura (°C)	Umidade (%)	
2018/2019	Início da manhã	Sul	21,05	75,35	
		Norte	22,75	68,25	
	Meio da manhã	Sul	27,45	56,60	
		Norte	29,93	49,08	
	Início da tarde	Sul	30,60	49,00	
		Norte	32,75	41,45	
	Meio da tarde	Sul	31,65	43,40	
		Norte	32,95	40,65	
	Final da tarde	Sul	25,70	61,35	
		Norte	23,65	71,90	
	2019/2020	Manhã	Sul	23,00	53,10
			Norte	28,10	40,70
Tarde		Sul	27,60	47,60	
		Norte	23,00	51,10	
Noite		Sul	14,50	67,14	
		Norte	12,30	80,80	
Madrugada		Sul	13,50	83,00	
		Norte	13,80	84,40	

2.1 Estatística descritiva

Os resultados obtidos foram analisados primeiramente por meio da estatística descritiva, utilizando-se a média aritmética, mediana, desvio padrão e coeficientes de curtose, de assimetria e de variação. Para interpretação do coeficiente de variação foi utilizada a classificação como baixo (0 - 10%), médio (11 - 20%), alto (21 - 30%) e muito alto (> 30%) (Pimentel-Gomes e Garcia, 2002). A normalidade dos dados foi verificada por meio dos parâmetros das variáveis da estatística descritiva e pelo teste de Anderson-Darling.

2.2 Controle Estatístico de Qualidade

A análise da variabilidade da força de desprendimento ao longo do tempo foi realizada por meio das ferramentas do CEQ. A primeira ferramenta utilizada foram os gráficos sequenciais ("run charts"), os quais, permitem a identificação da ocorrência de padrões não aleatórios. Por meio destes padrões é possível monitorar o processo, identificando e classificando as variações dos dados ao longo do tempo (Werkema, 2011). Esta classificação agrupa o conjunto de dados em quatro tipos de padrões: mistura, agrupamento, oscilação e tendência.

O padrão de mistura ocorre quando não se tem pontos próximos da linha central (mediana), sendo que, misturas sucessivas indicam dados associados a duas populações distintas. O agrupamento se dá quando se tem grupos de pontos em uma área do gráfico, o que indica variações relacionadas a causas especiais, como problemas de medição. Quando os dados oscilam entre a parte superior da mediana e a parte inferior da mediana, indicando que o processo não é uniforme, tem-se o padrão de oscilação.

Já a tendência ocorre quando se tem a desuniformidade dos dados, acima ou abaixo da linha central, indicando que pontos fora da faixa de controle devem aparecer em um futuro próximo. Os valores do conjunto de dados com $p < 0,05$ indicam padrões não aleatórios significativos; por outro lado, valores com $p > 0,05$ não são significativos e indicam comportamento aleatório dos dados, ou seja, variação normal do processo.

A outra ferramenta do CEQ utilizada foram as cartas de controle por variáveis do tipo carta I-AM (individual – amplitude móvel), que permitem monitorar a média e a variação do processo quando se tem dados observados continuamente. Estas cartas possuem dois gráficos, sendo o superior com os pontos individuais de cada valor amostrado e o inferior corresponde à amplitude móvel calculada entre dois pontos sucessivos.

Para identificar causas não controladas no processo (causas especiais) foram definidos limites de controle, calculados com base no desvio padrão das variáveis, sendo, o limite de controle superior igual a média mais três vezes o desvio padrão e o limite de controle inferior à média menos três vezes o desvio, não sendo considerados valores inferiores a 0 para o limite inferior.

Na interpretação das cartas de controle, é necessário se atentar a ocorrência de pontos fora dos limites de controle, e quando estes ocorrem, é dito que o processo está fora de controle, ou seja, é um processo instável pela influência de causas especiais. A explicação para estas causas pode ser encontrada por meio dos fatores chamados “6 M’s” (mão de obra; matéria prima; método; medição; máquina; meio ambiente).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Estatística descritiva

Na análise descritiva observou-se que para o estágio de maturação cereja, independentemente da safra, os valores de média e mediana da força de desprendimento reduziram no período da tarde em relação aos demais avaliados (Tabelas 2 e 3), o que, pode evidenciar provável alteração no processo de desprendimento destes frutos ao decorrer do dia.

Tabela 2. Estatística descritiva dos parâmetros relacionados a força de desprendimento (N) dos frutos de *C. arabica* na safra 2018/2019.

Estádio	Período do dia	Face	Medidas da estatística descritiva							
			Média	Mediana	Amplitude	σ	CV (%)	Ck	Cs	T*
Verde	Início da manhã	Sul	4,12	3,91	7,15	1,66	40,38	1,11	1,09	a
		Norte	4,01	3,66	8,83	1,88	46,82	5,62	2,20	a
	Meio da manhã	Sul	4,21	4,01	6,26	1,42	33,61	0,83	0,78	n
		Norte	3,98	3,86	5,78	1,37	34,53	0,57	0,79	n
	Início da tarde	Sul	4,47	4,43	6,61	1,52	34,06	0,02	0,33	n
		Norte	3,68	3,37	6,47	1,50	40,67	1,05	0,93	n
	Meio da tarde	Sul	4,42	4,22	7,17	1,83	41,46	-0,36	0,16	n
		Norte	3,71	3,44	5,90	1,39	37,59	0,79	0,86	a
	Final da tarde	Sul	3,55	3,30	4,46	1,00	28,23	-0,34	0,00	n
Norte		3,72	3,42	3,87	1,04	28,11	-0,64	0,52	n	
Verde cana	Início da manhã	Sul	3,96	3,89	6,85	1,54	38,99	0,56	0,52	n
		Norte	3,29	2,91	5,15	1,29	39,31	0,06	0,86	a
	Meio da manhã	Sul	3,54	3,30	6,15	1,60	45,32	-0,39	0,56	n
		Norte	2,94	2,96	5,29	0,98	33,29	2,35	0,52	a
	Início da tarde	Sul	3,01	2,70	5,25	1,34	44,46	-0,31	0,69	a
		Norte	2,67	2,54	3,90	1,08	40,26	-0,42	0,60	n
	Meio da tarde	Sul	2,74	2,27	6,48	1,35	49,46	3,48	1,53	a
		Norte	3,06	2,66	5,26	1,22	39,94	0,60	0,93	a
	Final da tarde	Sul	2,79	2,76	3,99	0,95	34,07	0,25	0,49	n
Norte		3,13	3,06	4,13	1,04	33,38	-0,34	0,29	n	
Cereja	Início da manhã	Sul	2,81	2,49	5,67	1,39	49,38	0,23	0,83	a
		Norte	2,89	2,51	6,18	1,44	49,72	1,23	1,20	a
	Meio da manhã	Sul	3,28	3,17	5,62	1,50	45,71	-0,14	0,74	n
		Norte	2,76	2,43	4,76	1,09	39,53	0,88	0,93	n
	Início da tarde	Sul	3,02	2,59	4,58	1,30	42,94	-0,46	0,67	a
		Norte	2,04	1,87	3,22	0,91	44,72	-0,61	0,71	a
	Meio da tarde	Sul	2,48	2,28	5,50	1,25	50,48	2,06	1,29	a
		Norte	2,46	2,17	5,51	1,23	50,04	2,30	1,41	a
	Final da tarde	Sul	2,04	1,93	3,68	0,76	37,13	3,67	1,54	a
Norte		1,93	1,86	2,91	0,66	34,34	1,36	1,06	n	
Seco	Início da manhã	Sul	0,72	0,56	2,75	0,58	80,85	4,36	1,87	a
		Norte	0,56	0,46	1,44	0,35	62,57	0,94	0,98	n
	Meio da manhã	Sul	0,56	0,46	2,23	0,39	70,65	12,15	2,85	a
		Norte	0,63	0,59	1,74	0,34	53,03	4,84	1,72	a
	Início da tarde	Sul	0,83	0,70	2,24	0,55	66,40	1,20	1,27	a
		Norte	0,46	0,40	0,98	0,23	50,70	1,07	1,11	a
	Meio da tarde	Sul	0,76	0,69	1,74	0,43	56,85	1,41	1,17	a
		Norte	0,63	0,55	1,73	0,36	57,34	4,52	1,88	a
	Final da tarde	Sul	0,55	0,51	1,07	0,26	47,62	-0,18	0,56	n
Norte		0,61	0,53	1,58	0,35	57,15	1,70	1,09	n	

σ : desvio padrão; CV: coeficiente de variação; Ck: coeficiente de curtose; Cs: coeficiente de assimetria; T*: teste de normalidade de Anderson-Darling (n: distribuição normal; a: distribuição não normal).

Tabela 3. Estatística descritiva dos parâmetros relacionados a força de desprendimento (N) dos frutos de *C. arabica* na safra 2019/2020.

Estádio	Período do dia	Face	Medidas da estatística descritiva							
			Média	Mediana	Amplitude	σ	CV (%)	Ck	Cs	T*
Verde	Manhã	Sul	4,75	4,66	6,60	1,58	33,29	-0,10	0,60	n
		Norte	3,99	3,71	3,08	0,82	20,45	-0,87	0,58	a
	Tarde	Sul	4,70	4,52	6,25	1,53	32,53	0,10	0,63	n
		Norte	4,29	4,30	4,79	1,03	23,97	0,66	0,26	n
	Noite	Sul	4,81	4,62	4,75	1,36	28,32	-0,66	0,55	a
		Norte	4,36	3,69	5,55	1,43	32,77	-0,19	0,79	n
	Madrugada	Sul	5,57	5,52	6,75	1,59	28,50	-0,02	0,56	n
		Norte	4,84	4,55	4,91	1,27	26,31	0,05	0,73	n
Cereja	Manhã	Sul	2,12	2,02	3,15	0,76	35,61	-0,26	0,54	n
		Norte	1,87	1,76	2,24	0,64	33,97	-1,16	0,36	a
	Tarde	Sul	1,79	1,81	1,92	0,39	21,97	1,21	0,72	n
		Norte	1,58	1,52	1,29	0,39	24,56	-0,93	0,45	a
	Noite	Sul	2,12	2,12	2,49	0,52	24,39	1,84	0,93	n
		Norte	1,94	1,91	1,81	0,57	29,25	-1,04	0,36	n
	Madrugada	Sul	2,30	2,04	3,85	0,91	39,57	1,28	1,29	a
		Norte	2,01	1,96	1,93	0,56	27,67	-1,26	0,03	n
Seco	Manhã	Sul	0,50	0,47	0,78	0,20	41,15	-0,66	0,41	a
		Norte	0,44	0,38	0,90	0,24	52,90	-0,68	0,44	a
	Tarde	Sul	0,54	0,55	0,81	0,25	45,52	-1,32	0,04	a
		Norte	0,52	0,53	0,80	0,25	47,35	-1,26	0,17	n
	Noite	Sul	0,48	0,47	0,84	0,23	48,42	-0,89	0,35	n
		Norte	0,43	0,43	0,89	0,22	51,25	-0,40	0,31	n
	Madrugada	Sul	0,43	0,47	0,68	0,20	46,63	-1,27	-0,24	a
		Norte	0,43	0,35	0,77	0,26	60,59	-1,50	0,33	a

σ : desvio padrão; CV: coeficiente de variação; Ck: coeficiente de curtose; Cs: coeficiente de assimetria; T*: teste de normalidade de Anderson-Darling (n: distribuição normal; a: distribuição não normal).

Na safra 2018/2019, para os frutos verdes, houve normalidade dos dados para a maioria das variáveis (70%), enquanto nos demais estádios avaliados esse percentual foi menor: verde cana (50%); cereja (40%); seco (30%). Porém, analisando-se todas as variáveis, observa-se que 55% delas apresentaram não normal.

Para a safra 2019/2020 os percentuais de normalidade foram maiores: 75; 63; 38% para os estádios verde, cereja e seco, respectivamente. Tais resultados são confirmados observando-se o afastamento entre as médias e as medianas, além dos coeficientes de assimetria, de curtose e de variação, bem como pela amplitude dos dados para os dois anos de avaliações. Ademais, mesmo para as variáveis que apresentaram distribuição normal, em ambas as safras avaliadas, os coeficientes de

variação foram altos (21 - 30%) ou muito altos (>30%) (Pimentel-Gomes e Garcia, 2002).

Por meio do coeficiente de curtose é possível analisar a dispersão dos dados em relação à curva de referência de padrão normal. Quando o coeficiente de curtose é igual a zero tem-se, distribuição mesocúrtica (curva normal); para valores menores que zero, a distribuição é platicúrtica (curva achatada) e, se maior que zero, a distribuição é leptocúrtica (curva alongada ou afilada).

A distribuição leptocúrtica e platicúrtica da maioria dos conjuntos de dados nas safras 2018/2019 e 2019/2020, respectivamente, é evidência desta alta variabilidade. Desta forma, coeficientes de curtose positivos ou negativos resultam em menor probabilidade de os dados estarem distribuídos normalmente próximos da média.

Na prática essa alta variabilidade da força de desprendimento dos frutos de café dificulta a realização da colheita mecanizada seletiva, pois o operador da colhedora terá maior dificuldade em definir a pressão do freio dos cilindros batedores, a vibração das hastes e a velocidade de deslocamento da máquina que permitam colher a maior e a menor quantidade possível de frutos maduros e verdes, respectivamente.

Um ponto interessante é que a diferença entre a força média de desprendimento de frutos verdes e cerejas na safra 2018/2019 foi mais acentuada nos três períodos da tarde (início, meio e final da tarde) em relação aos da manhã (início e meio da manhã), sendo observado incremento de cerca de 40%. Na avaliação seguinte (2019/2020) o aumento desta diferença do período da manhã para o da tarde foi de 18%, mas, por outro lado, comparando o período da manhã com o da madrugada ocorreu 28% a mais de diferença entre a força necessária para retirar frutos verdes e cerejas.

A diferença entre a força necessária para desprender estes dois estádios de maturação é essencial para a colheita mecanizada seletiva, pois contribui com o aumento da eficiência deste processo de retirar os frutos maduros deixando os verdes ainda na planta (Silva et al., 2016). Desta forma o período da manhã parece ser o menos favorável para a qualidade da colheita mecanizada seletiva,

considerando-se a diferença da força de desprendimento dos frutos verdes e maduros.

3.2 Gráficos sequenciais

Na safra 2018/2019 analisando a ocorrência de padrões de causas especiais por meio dos gráficos sequenciais (Tabela 4), para os frutos verdes, foi detectado o padrão de agrupamento nas duas avaliações da manhã, ambas na face Norte. Os frutos verdes cana além de agrupamento no início da manhã na face Sul, meio da manhã e meio da tarde, ambos na face Norte, também tiveram tendência na avaliação do meio da tarde na face Norte.

A tendência observada foi crescente, indicando aumento da força necessária para o desprendimento destes frutos do meio da tarde para o final do dia, na face Norte. Isto é confirmado quando observamos os valores superiores de mediana e média da força de desprendimento encontrados no final da tarde na face Norte em relação ao meio da tarde neste mesmo lado da planta.

Nos frutos cereja houve agrupamento em ambas as faces de exposição solar (Norte e Sul) no início da manhã e no meio da tarde na face Norte, tendência no meio da tarde em ambas as faces e oscilação no final da tarde na face Norte. Por meio da tendência decrescente identificada no meio da tarde em ambas as faces, pode-se inferir que deste período em diante ocorre redução da força necessária para o destacamento dos frutos maduros.

Por outro lado, o padrão de oscilação ao final da tarde na face voltada para o sol (Norte), indica que o processo se tornou inconstante, provavelmente em função da amplitude térmica e redução abrupta da temperatura da face da planta a pleno sol em virtude do início do período noturno.

Os frutos no estágio de maturação seco apresentaram padrão de agrupamento no início da manhã na face Sul e meio da manhã na face Norte, mistura no início da tarde nesta mesma face e final da tarde na face Sul, e tendência no meio da manhã na face sombreada (Sul) e no final de tarde na face oposta. Analisando o padrão de mistura que ocorreu nos períodos do início e final da tarde, pode-se inferir que existiam alguns frutos secos em um estágio de maturação mais

avanzado e outros em um menos, explicando assim a ocorrência desta não aleatoriedade.

Tabela 4. Valores de probabilidade para verificação da ocorrência de padrões relacionados à força de desprendimento dos frutos de *C. arabica* na safra 2018/2019.

Estádio	Período do dia	Face	Padrões				
			Agrupamento	Mistura	Tendência	Oscilação	
Verde	Início da manhã	Sul	0,37 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,29 ^{ns}	
		Norte	0,00*	0,10 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,29 ^{ns}	
	Meio da manhã	Sul	0,09 ^{ns}	0,91 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,61 ^{ns}	
		Norte	0,05*	0,96 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,29 ^{ns}	
	Início da tarde	Sul	0,85 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,61 ^{ns}	
		Norte	0,50 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,61 ^{ns}	
	Meio da tarde	Sul	0,25 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,93 ^{ns}	
		Norte	0,37 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,75 ^{ns}	
	Final da tarde	Sul	0,37 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,29 ^{ns}	
		Norte	0,50 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,61 ^{ns}	
	Verde cana	Início da manhã	Sul	0,05*	0,96 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,61 ^{ns}
			Norte	0,37 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,45 ^{ns}
Meio da manhã		Sul	0,09 ^{ns}	0,91 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,75 ^{ns}	
		Norte	0,05*	0,96 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,61 ^{ns}	
Início da tarde		Sul	0,09 ^{ns}	0,91 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,61 ^{ns}	
		Norte	0,16 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,86 ^{ns}	
Meio da tarde		Sul	0,37 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,45 ^{ns}	
		Norte	0,05*	0,96 ^{ns}	0,03*	0,97 ^{ns}	
Final da tarde		Sul	0,50 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,45 ^{ns}	
		Norte	0,85 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,29 ^{ns}	
Cereja		Início da manhã	Sul	0,05*	0,96 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,61 ^{ns}
			Norte	0,01*	0,99 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,29 ^{ns}
	Meio da manhã	Sul	0,50 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,61 ^{ns}	
		Norte	0,63 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,91 ^{ns}	0,09 ^{ns}	
	Início da tarde	Sul	0,16 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,45 ^{ns}	
		Norte	0,37 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,61 ^{ns}	
	Meio da tarde	Sul	0,37 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,03*	0,97 ^{ns}	
		Norte	0,05*	0,96 ^{ns}	0,00*	1,00 ^{ns}	
	Final da tarde	Sul	0,16 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,75 ^{ns}	
		Norte	0,09 ^{ns}	0,91 ^{ns}	0,99 ^{ns}	0,02*	
	Seco	Início da manhã	Sul	0,05*	0,95 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,29 ^{ns}
			Norte	0,16 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,86 ^{ns}
Meio da manhã		Sul	0,16 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,00*	1,00 ^{ns}	
		Norte	0,05*	0,96 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,86 ^{ns}	
Início da tarde		Sul	0,37 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,83 ^{ns}	0,17 ^{ns}	
		Norte	0,96 ^{ns}	0,04*	0,71 ^{ns}	0,29 ^{ns}	
Meio da tarde		Sul	0,51 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,75 ^{ns}	
		Norte	0,50 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,75 ^{ns}	
Final da tarde		Sul	0,96 ^{ns}	0,05*	0,83 ^{ns}	0,17 ^{ns}	
		Norte	0,37 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,03*	0,97 ^{ns}	

*: Valores padrões de não aleatoriedade detectados pelo teste de probabilidade a $p < 0,05$; ns: Valores padrões de aleatoriedade detectados pelo teste de probabilidade a $p > 0,05$.

O padrão de tendência, o qual foi crescente no meio da manhã na face Sul, resultou em valores médios superiores de mediana e média na avaliação subsequente realizada no final da tarde nesta mesma face de exposição solar. Por outro lado, no final da tarde na face Norte, a tendência foi decrescente, indicando possível alteração do comportamento da força de desprendimento dos frutos secos neste período e face de exposição.

Na safra 2019/2020 observou-se para os frutos verdes o padrão de agrupamento de manhã na face Norte e de madrugada na face Sul, além de tendência crescente na face Norte à tarde (Tabela 5). O que, indica o início de aumento da força de desprendimento dos frutos verdes do final do dia para o início da noite.

Tabela 5. Valores de probabilidade para verificação da ocorrência de padrões relacionados à força de desprendimento dos frutos de *C. arabica* na safra 2019/2020.

Estádio	Período do dia	Face	Padrões			
			Agrupamento	Mistura	Tendência	Oscilação
Verde	Manhã	Sul	0,09 ^{ns}	0,91 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,93 ^{ns}
		Norte	0,05*	0,96 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,86 ^{ns}
	Tarde	Sul	0,25 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,61 ^{ns}
		Norte	0,16 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,01*	0,99 ^{ns}
	Noite	Sul	0,25 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,83 ^{ns}	0,17 ^{ns}
		Norte	0,16 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,93 ^{ns}
	Madrugada	Sul	0,02*	0,98 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,45 ^{ns}
		Norte	0,16 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,75 ^{ns}
Cereja	Manhã	Sul	0,05*	0,96 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,75 ^{ns}
		Norte	0,25 ^{ns}	0,75 ^{ns}	1,00 ^{ns}	0,01*
	Tarde	Sul	0,76 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,61 ^{ns}
		Norte	0,05*	0,96 ^{ns}	0,01*	0,99 ^{ns}
	Noite	Sul	0,16 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,61 ^{ns}
		Norte	0,91 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,61 ^{ns}
	Madrugada	Sul	0,02*	0,98 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,75 ^{ns}
		Norte	0,63 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,61 ^{ns}
Seco	Manhã	Sul	0,26 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,83 ^{ns}	0,17 ^{ns}
		Norte	0,25 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,86 ^{ns}
	Tarde	Sul	0,75 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,91 ^{ns}	0,09 ^{ns}
		Norte	0,16 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,03*	0,97 ^{ns}
	Noite	Sul	0,26 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,75 ^{ns}
		Norte	0,64 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,75 ^{ns}
	Madrugada	Sul	0,25 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,93 ^{ns}
		Norte	0,63 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,29 ^{ns}

*: Valores padrões de não aleatoriedade detectados pelo teste de probabilidade a $p < 0,05$; ns: Valores padrões de aleatoriedade detectados pelo teste de probabilidade a $p > 0,05$.

Para os frutos cerejas, assim como para os frutos verdes, também foi detectado o padrão de tendência à tarde na face Norte, ocorrendo diminuição da força de desprendimento no início da avaliação e de aumento ao final. Também houve oscilação no período da manhã na face Norte, o que pode ter ocorrido devido ao início da maior incidência de radiação solar do período da manhã. Neste mesmo momento do dia ocorreu agrupamento na face Sul, padrão de não aleatoriedade este que também foi observado à tarde na face Norte e de madrugada na face Sul.

Os frutos secos apresentaram apenas padrão tendência na face Norte à tarde, ocorrendo inicialmente tendência de redução e, em seguida, de aumento da força necessária ao desprendimento. Os agrupamentos que ocorreram, independentemente do estágio de maturação dos frutos e do ano safra, podem ser devidos aos três terços da planta avaliados, pois, a maturação dos frutos de café é bastante desuniforme, sendo influenciada principalmente pelos seus terços (Kazama et al., 2020).

Os padrões não aleatórios observados em todas as avaliações evidenciam o comportamento não aleatório dos dados, indicando a possível atuação de causas especiais neste processo. A ocorrência de causas especiais pode ser explicada pelos fatores “6 M's”: mão de obra; matéria prima; método; medição; máquina; meio ambiente (Noronha et al., 2011).

Desta forma, a variedade de café e os estágios de maturação de seus frutos representam o fator matéria prima, enquanto o momento do dia, o terço da planta e a face de exposição solar constituem o fator meio ambiente. Assim, por meio dos valores-p obtidos na análise dos gráficos sequenciais, pode-se observar que a ocorrência dos padrões não aleatórios se deu principalmente em função da face de exposição solar.

Todavia, a maioria das avaliações, 57,5% na safra 2018/2019 e 66,7% na 2019/2020, não apresentaram indicação de ocorrência de causas especiais, apontando para a existência somente de causas comuns de variação, as quais, são aleatórias. Desta forma, a variação observada nestes parâmetros pode ser inerente ao próprio processo de desprendimento dos frutos, porém, para análise mais precisa

da ocorrência de causas especiais devem ser executadas as cartas de controle, que são apresentadas a seguir.

3.3 Cartas de controle

Analisando os resultados das safras 2018/2019 e 2019/2020, observa-se que o indicador de qualidade força de desprendimento fornece, ao longo do dia, um processo instável, independentemente do estágio de maturação (Figura 6 e 7).

Na safra 2018/ 2019, para os frutos nos estádios de maturação verde e cereja, de maneira geral, houve decréscimo da variabilidade da força de desprendimento avaliada ao longo do dia, o que levou à instabilidade do processo na maioria dos períodos, com exceção das avaliações do meio da manhã na face Norte para frutos verdes e na face Sul para cerejas, e também, no início da tarde na face Norte para verde e em ambas as faces do cafeeiro nos frutos cereja, bem como no final da tarde para os frutos verdes nos dois lados da planta.

Analisando os gráficos de amplitude móvel dos frutos verdes e cerejas, observa-se que os menores valores de variabilidade da força de desprendimento ocorreram ao final da tarde nas duas faces de exposição solar. Este período também foi o que apresentou menor força média de desprendimento para os frutos verdes e cereja. Isto indica que este momento pode ser o mais interessante para realizar a colheita seletiva dos frutos maduros, pois, os mesmos se desprendem com maior facilidade e com menor variação desta força de destacamento. Por outro lado, foi observada maior força de desprendimento na face Sul no início da tarde para os frutos verdes e no meio da manhã para os cereja.

No ano seguinte, safra 2019/2020, a variabilidade da força de desprendimento dos frutos verdes foi mais constante, observando menores valores na face Norte durante o dia (manhã e tarde). Por outro lado, para os frutos cerejas como na safra anterior, o processo de desprendimento teve menor variabilidade no período da tarde, confirmando que este período pode ser o mais adequado do ponto de vista da colheita mecanizada seletiva para a retirada destes frutos da planta.

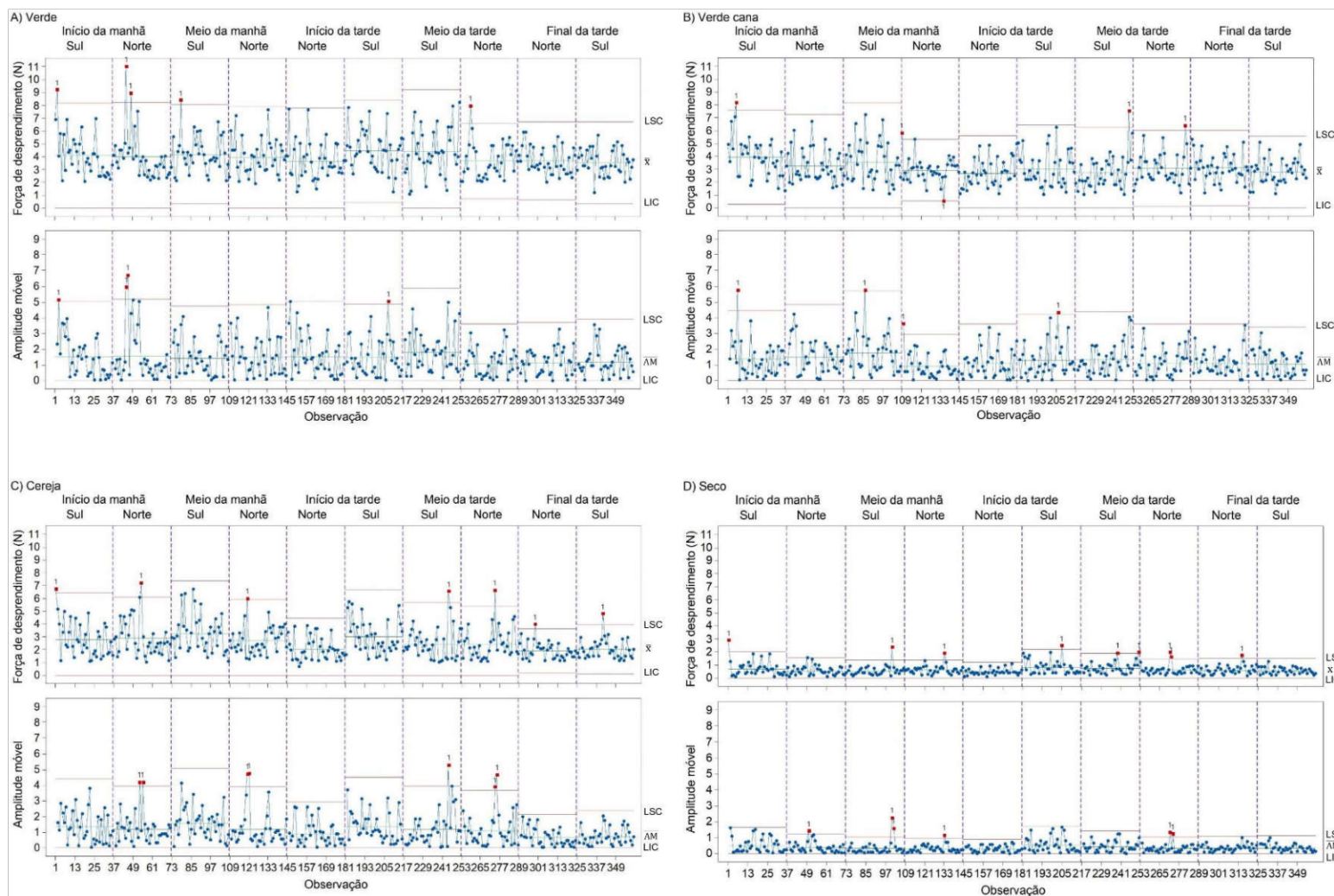


Figura 6. Cartas de controle individual e de amplitude móvel da força de desprendimento dos frutos de *C. arabica* na safra 2018/2019, de acordo com o período do dia, a face de exposição solar e o estágio de maturação. Limite superior de controle (LSC), limite inferior de controle (LIC), média (\bar{x}), média da amplitude móvel (\overline{AM}).

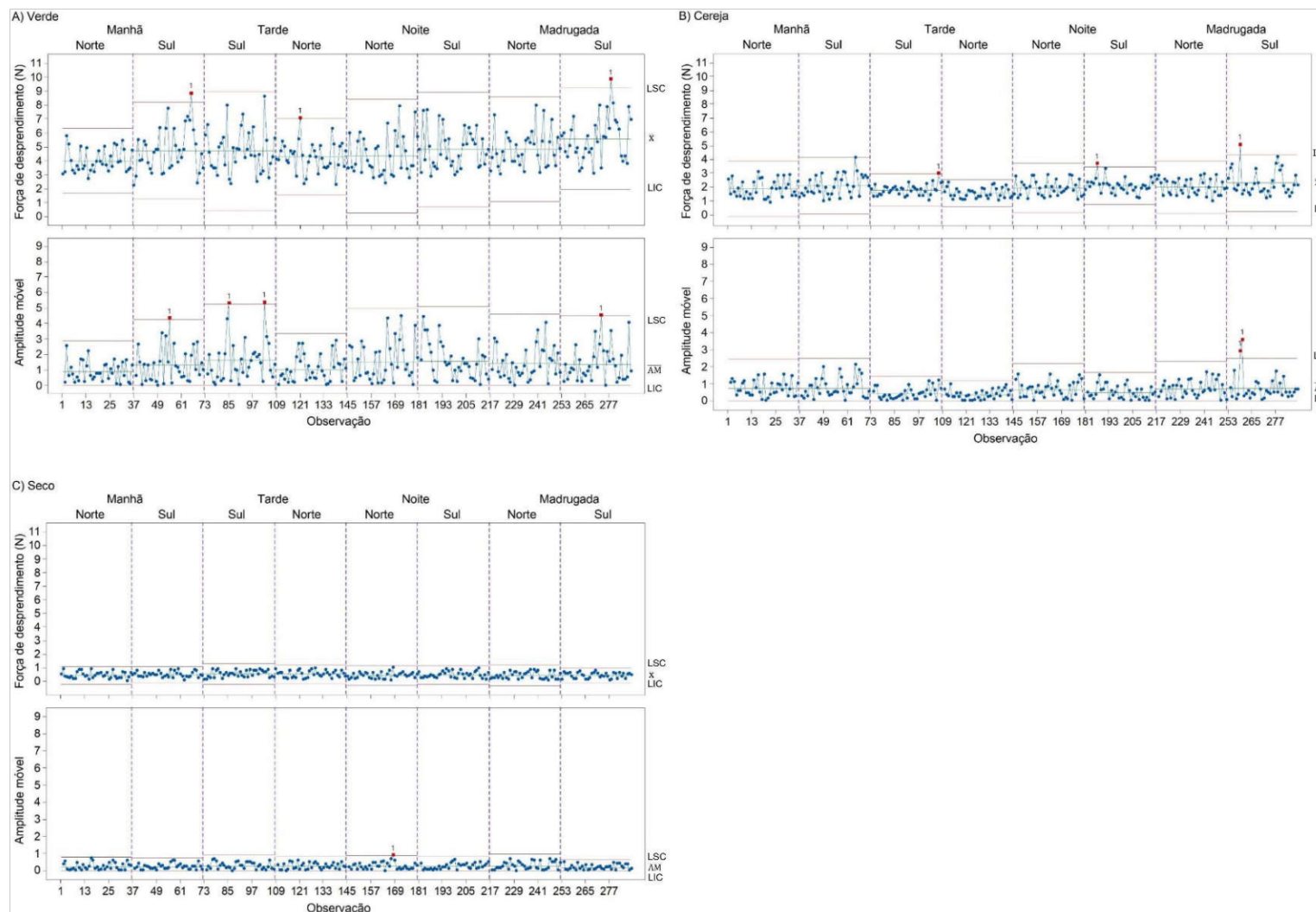


Figura 7. Cartas de controle individual e de amplitude móvel da força de desprendimento dos frutos de *C. arabica* na safra 2019/2020, de acordo com o período do dia, a face de exposição solar e o estágio de maturação. Limite superior de controle (LSC), limite inferior de controle (LIC), média (\bar{x}), média da amplitude móvel (\overline{AM}).

Em relação a instabilidade do processo, na safra 2019/2020 observou-se menor percentual de pontos fora de controle, o que indica processo mais homogêneo. No entanto, houve instabilidade para o desprendimento dos frutos verdes na face Sul no período da manhã e da madrugada, além da tarde em ambas as faces. Para os frutos cerejas, ocorreu instabilidade do processo de desprendimento nos períodos da tarde, noite e madrugada, mas apenas na face de exposição Sul do cafeeiro.

Já os frutos no estágio verde cana avaliados apenas na safra 2018/2019, apresentaram os maiores valores de força de desprendimento e variação desta no meio da manhã na face Sul e início da manhã em ambos os lados da planta, com estabilidade do processo nos inícios da manhã e da tarde, ambos na face Norte, e ao final da tarde em ambas as faces da planta.

Para os frutos secos na safra 2018/2019 nota-se variação da força de desprendimento ao longo do dia, mas com os menores valores de força de destacamento e variação desta sendo observados na face Norte no início da tarde, com a estabilidade do processo também ocorrendo apenas nesta ocasião e na face Sul ao final da tarde. Por outro lado, na safra 2019/2020, o processo foi bem mais estável, ocorrendo instabilidade apenas a noite na face Norte e observando-se os menores valores de força de desprendimento e variação desta na face Sul durante a madrugada.

A instabilidade observada no processo de desprendimento independentemente do estágio de maturação dos frutos e do ano safra, pode ocorrer devido às inúmeras floradas que ocorrem no cafeeiro em um mesmo ciclo produtivo, característica intrínseca desta planta que leva conseqüentemente a grande desuniformidade da maturação de seus frutos (Nogueira et al., 2005; Majerowicz e Söndahl, 2005), a que por sua vez, reflete na força necessária para retirá-los da planta.

Apesar desta instabilidade, constata-se que o percentual de pontos fora de controle foi pequeno: 1,67; 1,25; 1,67; 2,09% para os frutos nos estádios verde, verde cana, cereja e seco, respectivamente, na safra 2018/2019, e 1,22; 0,87; 0,17% na safra 2019/2020, para os frutos verdes, cerejas e secos, respectivamente. Em

processos agrícolas a alta variabilidade é característica inerente aos mesmos (Silva et al., 2007; Santos et al., 2018, 2019), sendo este valor aqui encontrado irrelevante.

Analisando os dados por meio das cartas de controle foi possível visualizar o comportamento da variabilidade da força de desprendimento dos estádios de maturação ao decorrer do dia. Por outro lado, quando se analisa somente os valores médios coletados a variação que ocorre ao longo do processo avaliado é mascarada (Alcântara et al., 2018).

Por fim, a análise das causas especiais confirmou os resultados dos gráficos sequenciais, em que, o desprendimento dos frutos do cafeeiro, apresentou-se, como processo instável, independentemente do estágio de maturação, e da safra, indicam que, existe a ocorrência de fatores externos, atuando na variabilidade da força de desprendimento dos frutos de café.

4 CONCLUSÕES

O período do dia e a face de exposição solar influenciam o comportamento da força de desprendimento dos frutos de café.

A exposição solar reduz a força necessária para retirar os frutos do cafeeiro.

Os frutos no estágio cereja necessitam de menor força de desprendimento e apresentam menor variação desta no período da tarde, fazendo com que este momento seja o mais favorável do ponto de vista da qualidade do processo para a realização da colheita mecanizada seletiva.

5 Agradecimentos

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

6 REFERÊNCIAS

Alcântara AS, Prado JP, Corrêa RG, Silva RP, Voltarelli MA, Vieira RD (2018) Quality monitoring of soybean seed tests using statistical process control. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 22:689-695.

Alves EA (2005) **Análise da variabilidade espacial da qualidade do café cereja produzido em região de montanha**. 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

Amaral JAT, Rena AB, Amaral JFT (2006) Crescimento vegetativo sazonal do cafeeiro e sua relação com fotoperíodo, frutificação, resistência estomática e fotossíntese. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 41:377-384.

Arruda NP, Hovell AMC, Rezende CM, Freitas SP, Couri S, Bizzo HR (2011) Discriminação entre estádios de maturação e tipos de processamento de pós-colheita de cafés arábica por microextração em fase sólida e análise de componentes principais. **Química Nova** 34:819-824.

Barros FF, Milan M (2010) Qualidade operacional do plantio de cana-de-açúcar. **Bragantia** 69:221-229.

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** 22:366-370.

Cassia MT, Silva RP, Chioderoli CA, Noronha RHF, Santos EP (2013) Quality of mechanized coffee harvesting in circular planting system. **Ciência Rural** 43:28-34.

Crisosto CH, Nagao MA (1991) Evaluation of Fruit Removal Force of Coffee Cultivars. **HortScience** 26:210-230.

Figueiredo VC, Ferraz GAS, Silva FM, Conceição FG, Carvalho LCC (2017) Analysis of spatial variability of force detachment of coffee fruits in central pivot. **Coffee Science** 12:84-92.

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.

Majerowicz N, Söndahl MR (2005) Induction and differentiation of reproductive buds in *Coffea arabica* L. **Brazilian Journal of Plant Physiology** 17:247-254.

Nogueira ÂM, Carvalho SP, Bartholo GF, Mendes ANG (2005) Avaliação da maturação dos frutos de linhagens das cultivares Catuaí Amarelo e Catuaí Vermelho (*Coffea arabica* L.) plantadas individualmente e em combinações. **Ciência e Agrotecnologia** 29:18-26.

Noronha RHF, Silva RP, Chioderoli CA, Santos EP, Cassia MT (2011) Statistical control applied in the process of mechanical sugar cane harvest in the diurnal and nocturnal periods. **Bragantia** 70:931-938.

Peel MC, Finlayson BL, McMahon TA (2007) Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences** 11:1633-1644.

Pimentel-Gomes F, Garcia CH (2002) Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários "Luiz de Queiroz" (FEALQ), 309p.

Santos AF, Correa LN, Gírio LAS, Paixão CSS, Silva RP (2018) Position errors in sowing in curved and rectilinear routes using autopilot. **Engenharia Agrícola** 38:568-576.

Santos FL, Queiroz DM, Pinto FDAC, Santos NT (2010) Analysis of the coffee harvesting process using an electromagnetic shaker. **Acta Scientiarum Agronomy** 32:373-378.

Santos AF, Silva RP, Zerbato C, Menezes PC, Kazama EH, Paixão CSS, Voltarelli MA (2019) Use of real-time extend GNSS for planting and inverting peanuts. **Precision Agriculture** 20:840-856.

Silva FC, Silva FM, Alves MC, Barros MM, Sales RS (2010) Comportamento da força de desprendimento dos frutos de cafeeiros ao longo do período de colheita. **Ciência e Agrotecnologia** 34:468-474.

Silva FC, Silva FM, Scalco MS, Sales RS (2016) Correlação da força de desprendimento dos frutos em cafeeiros Sob diferentes condições nutricionais. **Coffee Science** 11:169-179.

Silva FC, Silva FM, Silva AC, Barros MM, Palma MAZ (2013) Operacional performance of mechanically harvested coffee and selectivity in accordance to force detachment of fruit. **Coffee Science** 8:53-60.

Silva RP, Souza FG, Cortez JW, Furlani CEA, Vigna GP (2007) Variabilidade espacial e controle estatístico do processo de perdas na colheita mecanizada do algodoeiro. **Engenharia Agrícola** 27:742-752.

Silva RP, Voltarelli MA, Cassia MT (2015) Controle de qualidade em operações agrícolas mecanizadas. 1. ed. Jaboticabal: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 244p.

Voltarelli MA, Silva RP, Rosalen DL, Zerbato C, Cassia MT (2013) Quality of performance of the operation of sugarcane mechanized planting in day and night shifts. **Australian Journal of Crop Science** 7:1396-1406.

Werkema C (2011) Lean seis sigma: introdução às ferramentas do lean manufacturing. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 94p.

CAPÍTULO 3 - Qual o melhor período do dia para realizar a colheita mecanizada seletiva dos frutos de café?

Resumo - A colheita mecanizada seletiva do café é estratégica para os produtores agregarem maior qualidade e valor à sua produção. Porém, o sucesso desta operação está ligado à força necessária para desprender os frutos do cafeeiro. Objetivou-se por meio deste trabalho avaliar a força de desprendimento dos frutos de café conforme o período do dia, bem como em relação aos estádios de maturação e à face de exposição solar. O experimento foi realizado em lavoura de café cultivar Catuaí Vermelho IAC 144 (Presidente Olegário/MG – Brasil) durante as safras 2018/2019 e 2019/2020. Empregou-se o Delineamento Inteiramente Casualizado em esquema de parcelas sub-subdivididas no tempo. As parcelas foram compostas pelas faces de exposição solar da planta, as subparcelas pelos estádios de maturação dos frutos e as sub-subparcelas pelo período do dia. Foi avaliada a força de desprendimento dos frutos utilizando dinamômetro digital portátil, com 36 repetições. Realizou-se a análise de variância dos dados e quando necessário aplicou-se teste de Tukey, ambos a 5% de probabilidade. A força necessária para retirar os frutos do cafeeiro foi influenciada pelo estágio de maturação, o período do dia e a face de exposição solar das plantas. Conclui-se que o período do dia e a face de exposição solar influenciam na força de desprendimento dos frutos de café e que considerando a força de desprendimento dos frutos verdes e maduros, o período da tarde é o melhor para realizar a colheita mecanizada seletiva de café.

Palavras-chave: *Coffea arabica*, colheita seletiva, estádios de maturação, variabilidade, força de desprendimento.

1 INTRODUÇÃO

Agregar qualidade à produção de café é fundamental do ponto de vista econômico e social, sendo indispensável para os produtores compensarem os aumentos dos custos produtivos, uma vez que o preço de venda do café é determinado com base em parâmetros qualitativos, ou seja, o valor da saca é diretamente proporcional a qualidade de sua bebida produzida (Monteiro et al., 2010).

Neste aumento de qualidade, os frutos de café no estágio de maturação cereja são os que contribuem com a maioria dos precursores químicos mais importantes, os quais, compõem as melhores bebidas (Arruda et al., 2011). Isto, torna a operação de colheita mecanizada seletiva destes grãos estratégia valiosa para os cafeicultores.

A colheita seletiva tem a finalidade de colher do cafeeiro a maior porcentagem possível dos frutos no estágio de maturação cereja, deixando na planta os frutos verdes para a próxima passada da colhedora, quando então, estes já estarão maduros também (Santinato et al., 2015). Desta forma, é realizada mais de uma operação de colheita, utilizando-se menores vibrações das hastes e maior velocidade de deslocamento da colhedora, o que, respectivamente, reduz os danos às plantas e aumenta a capacidade operacional da colheita mecanizada (Silva et al., 2015).

A eficiência da colheita mecanizada seletiva está intimamente relacionada à diferença entre a força necessária para o desprendimento dos frutos verdes e maduros (Silva et al., 2013), pois os frutos verdes necessitam de maior esforço para serem destacados da planta em comparação aos frutos cerejas (Crisosto e Nagao, 1991). A redução da força de desprendimento ao decorrer da maturação dos frutos ocorre em função do afrouxamento da parede celular, a qual é degradada pela atividade de enzimas e à ação de espécies reativas de oxigênio (Brandão et al., 2016).

No entanto, a força de desprendimento dos frutos varia conforme: a variedade de café (Silva et al., 2010, 2013; Santos et al., 2010); a nutrição da lavoura e o teor de água no solo (Silva et al., 2016); a altitude e a localização do cafezal (Figueiredo

et al., 2017); ao decorrer do período da colheita (Barros et al., 2018); e de acordo com a incidência solar na planta.

Na lavoura de café a maior incidência de radiação solar em um dos lados da planta pode aumentar a sua produtividade em relação a face mais sombreada (Alves, 2005), isto ocorre devido à maior assimilação de carbono e produção de flores, em vez de brotos vegetativos, aumento do número de nós formados por ramo e de brotos de flores nos nós existentes (DaMatta, 2004).

Em contrapartida, a maior produtividade aumenta o requerimento energético do cafeeiro para o desenvolvimento de seus frutos, o que reduz a energia disponível para manter estes na planta e conseqüentemente a força exigida para o seu destacamento, por outro lado, menores produtividades aumentam a força de desprendimento dos frutos de café (Amaral et al., 2006; Figueiredo et al., 2017).

Assim, partindo da hipótese que a força necessária para o desprendimento dos frutos do cafeeiro varia conforme o período do dia e a face de exposição a luz solar, influenciando diretamente a eficiência da colheita mecanizada seletiva, este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o comportamento da força de desprendimento dos frutos de café ao longo do dia, bem como em relação aos estádios de maturação e à face de exposição a luz solar.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado durante as safras 2018/2019, no dia 29/05/2019 e 2019/2020, nos dias 31/05 e 01/06/2020, em lavoura comercial de café arábica irrigada por pivô central no município de Presidente Olegário, Minas Gerais, Brasil, localizada próxima às coordenadas 18°01'54.1" S, 46°27'52.4" W (Figura 1), com altitude média de 883 m.



Figura 1. Área experimental em Presidente Olegário - MG, 2020 (Fonte da imagem: Google Earth).

O clima da região é tropical com chuvas de verão, caracterizado por inverno mais seco, classificado como Aw (Peel et al., 2007) e com precipitação média anual de 1400 mm. A variedade de café da lavoura era a catuaí vermelho IAC 144, transplantada em dezembro de 2013, com espaçamento de 4,0 m entre linhas, 0,5 m entre plantas e alinhamento no sentido Leste-Oeste.

As avaliações foram realizadas em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) dentro de uma mesma gleba homogênea pré-selecionada. Foi utilizado o esquema de parcelas sub-subdivididas no tempo. As parcelas foram compostas pelas faces de exposição solar da planta (Figura 2), as subparcelas pelos estádios de maturação dos frutos e as sub-subparcelas pelo período do dia.

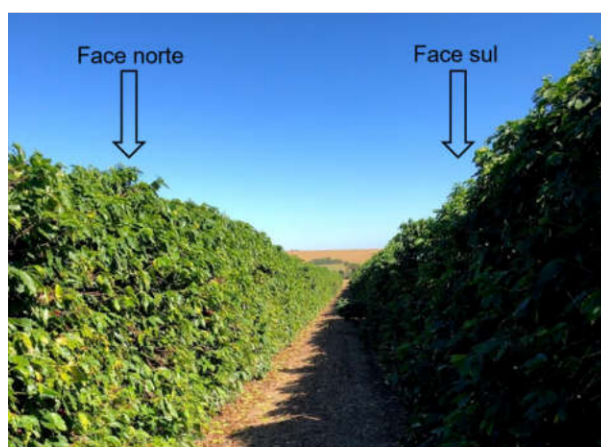


Figura 2. Faces de exposição solar da lavoura avaliada no dia 29/05/2020 às 10:08 da manhã.

Caracterizando a trajetória aparente do sol na esfera celeste ao longo do ano para a localização da lavoura em questão, observa-se que o lado das plantas

voltada para o Norte recebe maior incidência solar em relação a face oposta, voltada para o Sul (Figura 3).

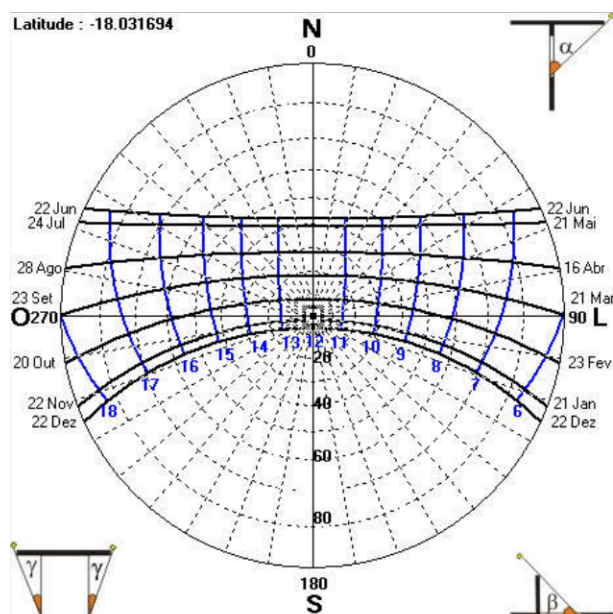


Figura 3. Carta solar da localização da lavoura avaliada (Fonte: Software Sol-Ar).

No primeiro ano (2018/2019), foram avaliadas a face Norte e Sul, os estádios de maturação verde, verde cana, cereja e seco e os períodos: início da manhã (7:30-8:30h); meio da manhã (9:30-10:30h); início da tarde (12:30-13:30h); meio da tarde (14:30-15:30h); final da tarde (16:30-17:30h).

Na safra seguinte (2019/2020), avaliou-se as duas faces (Norte e Sul), os estádios: verde; cereja; seco e os períodos da manhã (09:00 - 10:00), tarde (15:00 - 16:00), noite (21:00 - 22:00) e madrugada (4:00 - 5:00). Pelo fato dos frutos no estádio de maturação verde cana não serem o objetivo da colheita seletiva e de seu comportamento já tem sido avaliado no ano anterior, nesta safra estes frutos não foram avaliados.

Em cada período do dia foram realizadas 36 repetições por tratamento, avaliando-se seis plantas, nas quais, foram amostrados dois frutos por estádio de maturação por terço das plantas: superior; médio; inferior (Figura 4).



Figura 4. Esquema dos terços das plantas avaliados.

Para a mensuração da força de desprendimento foi utilizado dinamômetro digital portátil da Instrutherm modelo DD-500, com escala 0 a 49 N e resolução de 0,01 N (Figura 5).



Figura 5. Mensuração da força de desprendimento dos frutos de café utilizando dinamômetro digital portátil.

As condições climáticas foram monitoradas com termo higrômetro digital modelo HT-350, com $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$ (temperatura ambiente) e $\pm 5\%$ (umidade relativa) de precisão e resolução de $0,1^{\circ}\text{C}$ (temperatura) e $0,01\%$ (umidade). Durante a coleta das amostras foram mensuradas as seguintes médias de temperatura ambiente e umidade relativa do ar (Tabela 1).

Tabela 1. Condições climáticas durante as avaliações da força de desprendimento dos frutos de café nas safras 2018/2019 e 2019/2020.

Safra	Período do dia	Face de exposição solar	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Umidade (%)	
2018/2019	Início da manhã	Sul	21,05	75,35	
		Norte	22,75	68,25	
	Meio da manhã	Sul	27,45	56,60	
		Norte	29,93	49,08	
	Início da tarde	Sul	30,60	49,00	
		Norte	32,75	41,45	
	Meio da tarde	Sul	31,65	43,40	
		Norte	32,95	40,65	
	Final da tarde	Sul	25,70	61,35	
		Norte	23,65	71,90	
	2019/2020	Manhã	Sul	23,00	53,10
			Norte	28,10	40,70
Tarde		Sul	27,60	47,60	
		Norte	23,00	51,10	
Noite		Sul	14,50	67,14	
		Norte	12,30	80,80	
Madrugada		Sul	13,50	83,00	
		Norte	13,80	84,40	

Antes da análise de variância, averiguou-se primeiramente a homocedasticidade e a normalidade dos dados por meio dos testes de Levene e Kolmogorov-Smirnov, respectivamente. Quando um destes pré-requisitos não foi atendido foi utilizada a transformação Box-Cox (Hawkins e Weisberg, 2017). A análise de variância foi realizada a 5% de probabilidade e, quando pertinente, comparou-se as médias utilizando-se o teste de Tukey a 5%.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise de variância houve interação significativa entre a face de exposição solar e o período do dia e entre os estádios de maturação e o período do dia na safra 2018/2019 (Tabela 2), já na safra 2019/2020 ocorreu interação significativa entre a face de exposição e estágio de maturação e também entre o período do dia e o estágio de maturação (Tabela 3).

Tabela 2. Análise de variância da força de desprendimento de frutos de *C. arabica* para efeitos principais e interações das face de exposição solar, dos estádios de maturação e dos períodos do dia na safra 2018/2019.

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	P
Face de exposição solar (TP)	1	19,93	19,93	15,31**	0,00
Resíduo (a)	70	91,13	1,30	--	--
Parcelas	71	111,06	--	--	--
Estádio de maturação (TS)	3	2182,43	727,48	568,18**	0,00
TP x TS	3	3,12	1,04	0,81 ^{ns}	0,49
Resíduo (b)	210	268,88	1,28	--	--
Subparcelas	287	2565,49	--	--	--
Período do dia (TT)	4	46,45	11,61	8,58**	0,00
TP x TT	4	20,59	5,15	3,80**	0,01
TS x TT	12	42,03	3,50	2,59**	0,00
Tp x TS x TT	12	24,68	2,06	1,52 ^{ns}	0,11
Resíduo (c)	1120	1516,39	1,35	--	--
Total	1439	4215,63	--	--	--
Média geral da variável					2,58
Coeficiente de variação para parcelas					44,32%
Coeficiente de variação para subparcelas					43,95%
Coeficiente de variação para sub-subparcelas					45,19%

* Significativo a 5%; ** Significativo a 1%; ns Não significativo a 5%.

Tabela 3. Análise de variância da força de desprendimento de frutos de *C. arabica* para efeitos principais e interações das face de exposição solar, dos estádios de maturação e dos períodos do dia na safra 2019/2020.

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	P
Face de exposição solar (TP)	1	17,37	17,37	26,60**	0,00
Resíduo (a)	70	45,69	0,65	--	--
Parcelas	71	63,06	--	--	--
Estádio de maturação (TS)	2	2598,06	1299,03	2060,60**	0,00
TP x TS	2	11,38	5,69	9,03**	0,49
Resíduo (b)	140	88,26	0,63	--	--
Subparcelas	215	2760,75	--	--	--
Período do dia (TT)	3	16,65	5,55	7,04**	0,00
TP x TT	3	0,89	0,30	0,38 ^{ns}	0,77
TS x TT	6	22,06	3,68	4,66**	0,00
TP x TS x TT	6	1,08	0,18	0,23 ^{ns}	0,97
Resíduo (c)	630	496,98	0,79	--	--
Total	863	3298,42	--	--	--
Média geral da variável					2,36
Coeficiente de variação para parcelas					34,13%
Coeficiente de variação para subparcelas					33,54%
Coeficiente de variação para sub-subparcelas					37,52%

* Significativo a 5%; ** Significativo a 1%; ns Não significativo a 5%.

Analisando o desdobramento das interações para a safra 2018/2019 observa-se que a força de desprendimento diminuiu ao decorrer do dia de acordo com a face de exposição solar e que quando existe diferença entre as faces, os menores valores foram observados na face Norte (Tabela 4). Este lado da planta, pela localização geográfica da lavoura, possui maior exposição solar ao longo do ano, em comparação a face do cafeeiro voltada para o Sul.

Tabela 4. Força de desprendimento (N) média dos frutos de *C. arabica* de acordo com o período do dia e a face de exposição solar na safra 2018/2019.

Período do dia	Face de exposição solar	
	Norte	Sul
Início da manhã	2,69 Ba	2,90 Ba
Meio da manhã	2,58 ABa	2,90 Bb
Início da tarde	2,21 Aa	2,83 Bb
Meio da tarde	2,46 ABa	2,60 ABa
Final da tarde	2,34 ABa	2,23 Aa

*Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem pelo teste de Tukey (5%).

Para a interação entre estágio de maturação e período do dia, também na safra 2018/2019, observa-se que o período do dia não influenciou a força de desprendimento dos frutos nos estádios verde e seco (Tabela 5). Por outro lado,

para os frutos verde cana e cereja, a força de desprendimento diminuiu ao decorrer do dia, observando menores valores depois do meio da manhã para o estágio verde cana e depois do meio da tarde para os frutos cereja.

Tabela 5. Força de desprendimento (N) dos frutos de *C. arabica* de acordo com o período do dia e o estágio de maturação na safra 2018/2019.

Período do dia	Estádio de maturação dos frutos de café			
	Verde	Verde cana	Cereja	Seco
Início da manhã	4,06 Ac	3,62 Bc	2,85 BCb	0,64 Aa
Meio da manhã	4,09 Ac	3,24 ABb	3,02 Cb	0,60 Aa
Início da tarde	4,08 Ac	2,84 Ab	2,53 BCb	0,65 Aa
Meio da tarde	4,06 Ac	2,90 Ab	2,47 ABb	0,69 Aa
Final da tarde	3,63 Ad	2,96 Ac	1,98 Ab	0,58 Aa

*Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem pelo teste de Tukey (5%).

Na safra 2019/2020 desdobrando a interação entre face de exposição e estágio de maturação observa-se menores valores de força de desprendimento dos frutos verdes e cerejas na face Norte em relação a face Sul, a qual, estava na sombra no período de colheita (Tabela 6). Entretanto, não houve efeito significativo da face de exposição solar na força de desprendimento dos frutos secos.

Tabela 6. Força de desprendimento (N) dos frutos de *C. arabica* de acordo com a face de exposição solar e o estágio de maturação na safra 2019/2020.

Face de exposição solar	Estádio de maturação dos frutos de café		
	Verde	Cereja	Seco
Norte	4,37 Ac	1,85 Ab	0,46 Aa
Sul	4,96 Bc	2,08 Bb	0,49 Aa

*Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem pelo teste de Tukey (5%).

Em relação a interação entre estágio de maturação e período do dia na safra 2019/2020, como na safra 2018/2019 não houve variação significativa ao longo do dia para os frutos verdes, porém observou-se maior força de desprendimento deste estágio durante o período da madrugada (Tabela 7). Isto também ocorreu para os frutos cerejas, por outro lado, novamente não houve influência do período do dia na força de desprendimento dos frutos secos.

Tabela 7. Força de desprendimento (N) dos frutos de *C. arabica* de acordo com o período do dia e o estágio de maturação na safra 2019/2020.

Período do dia	Estádio de maturação dos frutos de café		
	Verde	Cereja	Seco
Manhã	4,37 Ac	2,00 ABb	0,47 Aa
Tarde	4,50 Ac	1,69 Ab	0,53 Aa
Noite	4,58 Ac	2,03 ABb	0,45 Aa
Madrugada	5,20 Bc	2,15 Bb	0,43 Aa

*Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem pelo teste de Tukey (5%).

A variação da força de desprendimento ao longo do dia e conforme a face de exposição solar pode estar ligada à produção de etileno da planta, pois, este hormônio vegetal está diretamente relacionado ao processo de desprendimento das folhas, frutos, alteração da cor e ao tempo necessário para o amadurecimento dos grãos de café (Burg e Burg, 1965; Abeles, 1987; Pereira et al., 2005; Ságio et al., 2014). Sendo que, produtos à base de etileno são aplicados em diversas culturas para acelerar o amadurecimento de seus frutos (Lipe e Morgan, 1972; Abeles, 1987, 2012; Martin et al., 1981; Wood, 1989).

Apesar da complexidade das interações entre os fatores que regulam o processo de produção do etileno nas plantas (Argueso et al., 2007), estudos recentes mostram que a sua síntese e metabolismo estão intimamente correlacionados aos fatores ambientais como luz e temperatura (Zhang et al., 2020). Desta forma, possivelmente, a concentração de etileno no cafeeiro deve variar ao longo do dia e de acordo com a face de exposição solar, e assim influenciar o comportamento do processo de destacamento dos frutos do cafeeiro.

Do ponto de vista da colheita mecanizada seletiva é desejável que se tenha a maior diferença possível entre a força de desprendimento de frutos no estágio verde e cereja (Silva et al., 2013), pois assim a retirada apenas dos frutos maduros é facilitada, enquanto, maior quantidade de frutos verdes permanece na planta para serem colhidos futuramente. Desta forma, analisando os dados das duas safras avaliadas, observou-se as menores diferenças entre a força de desprendimento de frutos verdes e cerejas no período da manhã e as maiores durante a madrugada (Figura 6).

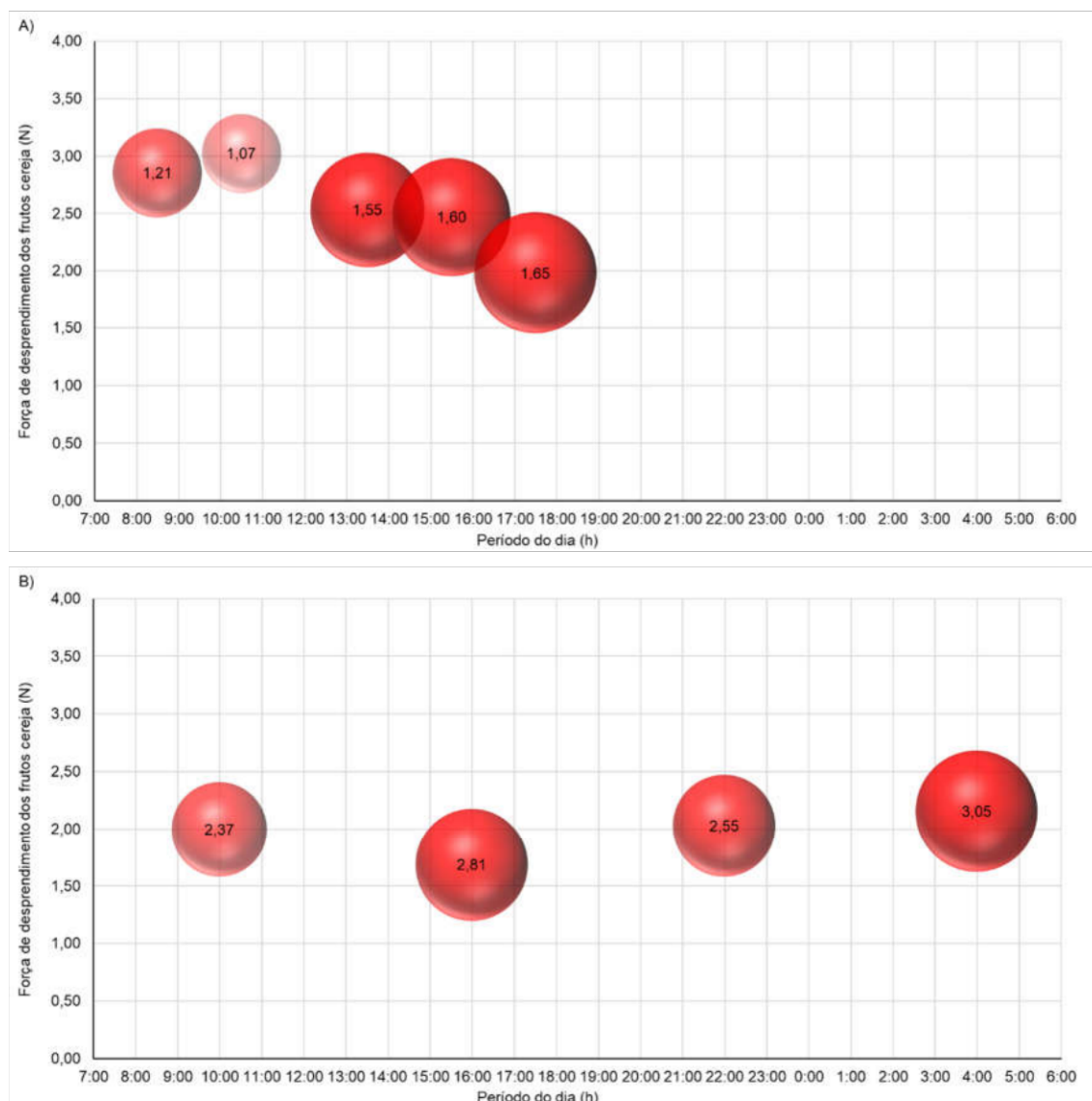


Figura 6. Média da força de desprendimento dos frutos cereja conforme o período do dia nas safras 2018/2019 (A) e 2019/2020 (B), no qual a dimensão e o valor (N) no centro de cada bolha representam a média da diferença da força de desprendimento (N) de frutos verdes e cerejas no respectivo período do dia.

Por outro lado, no período da tarde foram observados valores da diferença entre a força de desprendimento de frutos verdes e cerejas mais favoráveis para a colheita mecanizada seletiva, ou seja, superiores a 2 N (Silva et al., 2013), aliados a baixos valores de força de desprendimento de frutos cerejas. Desta forma, neste período do dia tem-se condições mais adequadas para a realização da colheita mecanizada seletiva dos frutos cerejas do cafeeiro.

4 CONCLUSÕES

O período da tarde é o melhor para realizar a colheita mecanizada seletiva de *C. arabica*.

Os frutos cerejas e verdes possuem maior força de desprendimento no período da madrugada.

A força necessária para retirar os frutos secos não é influenciada pelo período do dia

Os frutos maduros se desprendem mais facilmente do cafeeiro no final da tarde.

A face de exposição solar influencia no processo de desprendimentos dos frutos.

5 Agradecimentos

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

6 REFERÊNCIAS

Abeles FB (1987) Manipulation of plant growth by ethylene. **Acta Horticulturae** 201:11-20.

Abeles FB (2012) Ethylene in Plant Biology. New York: Academic Press, 414p.

Alves EA (2005) **Análise da variabilidade espacial da qualidade do café cereja produzido em região de montanha**. 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

Amaral JAT, Rena AB, Amaral JFT (2006) Crescimento vegetativo sazonal do cafeeiro e sua relação com fotoperíodo, frutificação, resistência estomática e fotossíntese. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 41:377-384.

Argueso CT, Hansen M, Kieber JJ (2007) Regulation of ethylene biosynthesis. **Journal of Plant Growth Regulation** 26:92-105.

Arruda NP, Hovell AMC, Rezende CM, Freitas SP, Couri S, Bizzo HR (2011) Discriminação entre estádios de maturação e tipos de processamento de pós-colheita de cafés arábica por microextração em fase sólida e análise de componentes principais. **Química Nova** 34:819-824.

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** 22:366-370.

Brandão IR, Silva DM, Souza KRD, Boas LVV, Santos MO, Silva FM, Alves JD (2016) Physiological and ultrastructural analysis reveal the absence of a defined abscission zone in coffee fruits. **Bragantia** 75:386-395.

Burg SP, Burg EA (1965) Ethylene action and the ripening of fruits. **Science** 148:1190-1196.

Crisosto CH, Nagao MA (1991) Evaluation of Fruit Removal Force of Coffee Cultivars. **HortScience** 26:210-230.

DaMatta FM (2004) Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: A review. **Field Crops Research** 86:99-114.

Figueiredo VC, Ferraz GAS, Silva FM, Conceição FG, Carvalho LCC (2017) Analysis of spatial variability of force detachment of coffee fruits in central pivot. **Coffee Science** 12:84-92.

Hawkins DM, Weisberg S (2017) Combining the box-cox power and generalised log transformations to accommodate nonpositive responses in linear and mixed-effects linear models. **South African Statistical Journal** 51:317-328.

Lipe JA, Morgan PW (1972) Ethylene: Role in Fruit Abscission and Dehiscence Processes. **Plant Physiology** 50:759-764.

Martin GC, Lavee S, Sibbett GS (1981) Chemical loosening agents to assist mechanical harvest of olive. **Journal of the American Society for Horticultural Science** 106:325-330.

Monteiro MAM, Minim VPR, Silva AF, Chaves JBP (2010) Influência da torra sobre a aceitação da bebida café. **Revista Ceres** 57:145-150.

Peel MC, Finlayson BL, McMahon TA (2007) Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences** 11:1633-1644.

Pereira LFP, Galvão RM, Kobayashi AK, Cação SMB, Vieira LGE (2005) Ethylene production and acc oxidase gene expression during fruit ripening of *Coffea arabica* L. **Brazilian Journal of Plant Physiology** 17:283-289.

Ságio SA, Barreto HG, Lima AA, Moreira RO, Rezende PM, Paiva LV, Chalfun Junior A (2014) Identification and expression analysis of ethylene biosynthesis and signaling genes provides insights into the early and late coffee cultivars ripening pathway. **Planta** 239:951-963.

Santinato F, Ruas RAA, Silva RP, Carvalho Filho A, Santinato R (2015). Número de operações mecanizadas na colheita do café. **Ciência Rural** 45:1809-1814.

Santos FL, Queiroz DM, Pinto FDAC, Santos NT (2010) Analysis of the coffee harvesting process using an electromagnetic shaker. **Acta Scientiarum Agronomy** 32:373-378.

Silva FC, Silva FM, Alves MC, Barros MM, Sales RS (2010) Comportamento da força de desprendimento dos frutos de cafeeiros ao longo do período de colheita. **Ciência e Agrotecnologia** 34:468-474.

Silva FC, Silva FM, Sales RS, Alves MC, Ferraz GAS, Sales RS (2015) Efficiency of coffee mechanical and selective harvesting in different vibration during harvest time. **Coffee Science** 10:56–64.

Silva FC, Silva FM, Scalco MS, Sales RS (2016) Correlação da força de desprendimento dos frutos em cafeeiros Sob diferentes condições nutricionais. **Coffee Science** 11:169-179.

Silva FC, Silva FM, Silva AC, Barros MM, Palma MAZ (2013) Operacional performance of mechanically harvested coffee and selectivity in accordance to force detachment of fruit. **Coffee Science** 8:53-60.

Wood BW (1989) Ethephon and NAA facilitate early harvesting of pecans. **Journal of the American Society for Horticultural Science** 114:279-282.

Zhang W, Hu Y, Liu J, Wang H, Wei J, (2020) Progress of ethylene action mechanism and its application on plant type formation in crops. **Saudi Journal of Biological Sciences** 27:1667-1673.

CAPÍTULO 4 - Qualidade da colheita mecanizada do café conforme a face de exposição solar e o período do dia

Resumo - A qualidade e o valor agregado da produção de café são diretamente proporcionais à eficiência do processo de colheita. Porém, a heterogeneidade de maturação dos frutos do cafeeiro diminui a qualidade desta operação mecanizada. Objetivou-se por meio deste trabalho avaliar a qualidade da colheita mecanizada de café ao longo do dia, conforme a face de exposição solar. O experimento foi realizado em duas safras: 2018/2019 e 2019/2020, em lavoura comercial de café catuaí vermelho IAC 144, localizada em Presidente Olegário-MG/Brasil. Os dados foram coletados seguindo as premissas do Controle Estatístico de Qualidade (CEQ), avaliando-se a produtividade, a eficiência de colheita e de limpeza da colhedora, o percentual de café caído no chão e remanescente nas plantas, além dos danos à planta e o índice de maturação da carga inicial e do café colhido, remanescente e caído. A qualidade da colheita mecanizada do café é mais afetada pela exposição solar do cafeeiro e o grau de maturação de seus frutos, do que pelo período do dia. A face com maior exposição solar anual e conseqüentemente com maior carga inicial, está sujeita a maiores danos durante o processo de colheita mecanizada. O maior tempo de exposição das plantas à ação da colhedora, além de aumentar os danos, reduz a eficiência do processo do sistema de limpeza da mesma.

Palavras-chave: *Coffea arabica*, colheita seletiva, controle estatístico de qualidade, estádios de maturação, variabilidade.

1 INTRODUÇÃO

O café é uma das principais commodities do agronegócio, sendo fonte de renda e movimentando a economia de diversas regiões do Brasil e do mundo. Porém, por apresentar elevado custo de produção, é fundamental otimizar os processos produtivos da cafeicultura, buscando maior eficiência de suas operações (Santinato et al., 2014). Desta forma, a colheita mecanizada seletiva dos frutos cerejas é um passo natural na busca de maior qualidade e, conseqüentemente, maior valor agregado à produção de café, pois, as melhores bebidas são produzidas com frutos que estão neste estágio de maturação (Arruda et al., 2011).

Este tipo de colheita busca, por meio do momento de realização da operação e das regulagens da colhedora, retirar o maior e o menor percentual possível de frutos maduros e verdes da planta, respectivamente, deixando estes últimos para colheita futura, quando já estiverem maduros (Santinato et al., 2015a). No entanto, a heterogeneidade na produtividade e maturação dos frutos, características intrínsecas do cafeeiro, dificultam a realização da colheita seletiva.

O cafeeiro passa por várias floradas em um mesmo ciclo produtivo, o que, conseqüentemente, causa o aumento da desuniformidade da maturação dos frutos (Majerowicz e Söndahl, 2005; Nogueira et al., 2005). Por outro lado, a menor ou maior incidência solar nas plantas ao longo do ano pode diminuir ou aumentar a produtividade, respectivamente (DaMatta, 2004).

Esta influência da exposição solar pode ser observada até mesmo nas faces do cafeeiro, com o lado mais exposto apresentando maior produção, em comparação a face oposta mais sombreada (Alves, 2005). Ademais, a maior produtividade pode facilitar o desprendimento dos frutos, em comparação a anos safras com menor produtividade (Amaral et al., 2006; Figueiredo et al., 2017).

Para compreender estes fatores e possibilitar a melhor tomada de decisão na colheita do café, o Controle Estatístico de Qualidade (CEQ) possui um conjunto de ferramentas que podem ser empregadas para avaliar a qualidade desta operação agrícola, permitindo assim tomar decisões visando aumentar a eficiência do processo. Por meio do CEQ é possível visualizar e tomar decisões para a redução

da variabilidade do processo, e desta forma, obter resultados mais satisfatórios (Barros e Milan, 2010; Compagnon et al., 2012).

Todo processo deve ter a qualidade como objetivo final e, neste sentido, a qualidade pode ser definida como a redução da variabilidade. A variabilidade encontra-se presente em todos os processos de produção de bens ou de serviços, podendo ser medida por variáveis ou por atributos, denominados indicadores de qualidade (Souza, 2003).

A variabilidade de um processo pode ocorrer devido à presença de causas naturais (aleatórias), provindas de fontes de variação que afetam todos os valores individuais do processo, e são resultantes de diversas fontes, sem que nenhuma tenha predominância sobre a outra (Silva et al., 2015). Já as causas especiais são aquelas que afetam o comportamento do processo de maneira não previsível, impossibilitando a obtenção de determinado valor-padrão.

Desta forma, com a hipótese que a qualidade do processo de colheita mecanizada do café varia de acordo com a face de exposição solar das plantas e o período do dia, objetivou-se, por meio deste trabalho avaliar a qualidade da colheita mecanizada de café ao longo do dia, conforme a face de exposição solar.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em duas safras consecutivas, 2018/2019 no dia 28/05/2019 e 2019/2020 no 01/06/2020, em lavoura comercial de café arábica, irrigada por pivô central, no município de Presidente Olegário, Minas Gerais – Brasil, localizada próxima às coordenadas 18°01'54.1" S, 46°27'52.4" W (Figura 1).

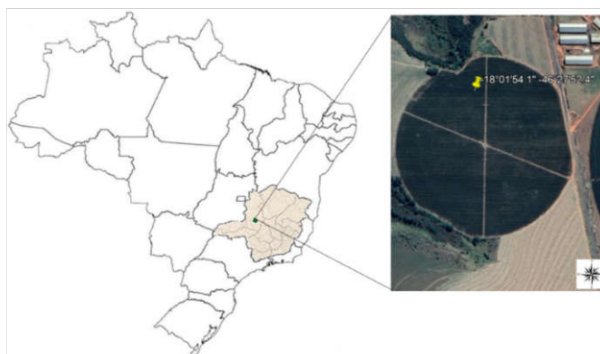


Figura 1. Área experimental em Presidente Olegário - MG, 2020 (Fonte da imagem: Google Earth).

A altitude média do local é de 883 m com declividade de cerca de 4%. O clima da região é tropical com chuvas de verão, caracterizado por inverno mais seco, classificado como Aw (Peel et al., 2007) e com precipitação média anual de 1400 mm. A variedade de café da lavoura era a catuaí vermelho IAC 144, transplantada em dezembro de 2013, com espaçamento de 4,0 m entre linhas, 0,5 m entre plantas e alinhamento no sentido Leste-Oeste.

A trajetória aparente do sol na esfera celeste para esta localização, determina que a face das plantas voltada para o Norte receba maior incidência solar ao longo do ano em relação à face Sul (Figura 2).

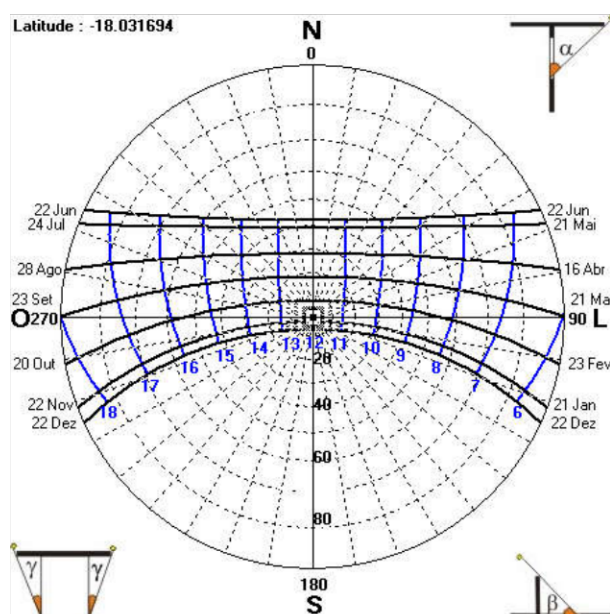


Figura 2. Carta solar da localização da lavoura avaliada (Fonte: Software Sol-Ar).

As avaliações da colheita mecanizada foram realizadas em dois períodos durante o dia: manhã (10-11h) e tarde (15-16h) e nas duas faces de exposição solar do cafeeiro: Norte e Sul (Figura 3), seguindo as premissas do CEQ (Silva et al., 2015), com a coleta das amostras espaçadas ao longo do tempo.

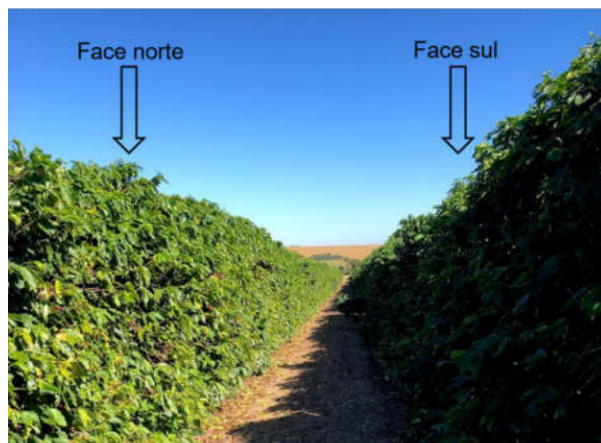


Figura 3. Faces de exposição solar da lavoura avaliada no dia 29/05/2020 às 10:08 da manhã.

A coleta de dados foi realizada acompanhando o processo de colheita pré-definido pela fazenda, com a caracterização da produtividade de café efetuada na linha ao lado da que estava sendo colhida mecanicamente, na qual foi realizada a avaliação de qualidade.

Inicialmente foi mensurada a carga inicial (produtividade) da lavoura, em quatro pontos tomados ao acaso, ao longo da linha de café pré-definida, derriçando-se manualmente toda a carga pendente de seis plantas. Para isto, foram utilizados panos de “derrixa” (3,0 x 2,0 m) posicionados sob o dossel do cafeeiro e, após a derrixa de todos os frutos, separados por face de exposição, cada um destes volumes foi quantificado, utilizando-se recipiente graduado para o cálculo da produtividade média por planta ($L \text{ planta}^{-1}$).

Em seguida, para a colheita mecanizada, foi utilizada colhedora Jacto KTR Advance, tracionada por trator 4x2 TDA da John Deere modelo 5425N com 57,4 kw (78 cv) de potência no motor, operando na velocidade de trabalho de $0,31 \text{ m s}^{-1}$ na primeira safra e de $0,28 \text{ m s}^{-1}$ na segunda. A pressão do freio dos cilindros batedores foi de 15 kgf nas duas safras, já a frequência de vibração das hastes da colhedora estava regulada para 12,50Hz (750 rpm) no ano safra 2018/2019 e 14,17Hz (850 rpm) em 2019/2020.

Nas duas safras, a qualidade do processo de colheita mecanizada foi avaliada por meio das variáveis: eficiência de colheita; índice de maturação dos frutos colhidos; quantidade de café remanescente nas plantas, café caído no solo, danos às plantas e pela eficiência de limpeza da colhedora. Adicionalmente, na safra

2019/2020 foi mensurado também, os índices de maturação dos frutos da carga inicial, de café remanescente e de café caído.

Durante o processo de colheita foram demarcados quatro pontos por período de avaliação e, em cada um destes foi colocado um pano de derrça por face de exposição solar, de forma a cobrirem o solo abaixo de todo o dossel de seis plantas. Após a passagem da colhedora eram coletados e mensurados com recipiente graduado, o volume de frutos sobre os panos. Estes grãos constituem o café caído, que ficaria no solo após a operação de colheita. O valor total da medição em litros foi dividido pelas seis plantas avaliadas para se obter o resultado final em L planta⁻¹, o qual, posteriormente, foi convertido em valores percentuais em relação à produtividade.

Nesta mesma etapa, o volume de folhas e fragmentos de galhos sobre os panos teve sua massa mensurada utilizando-se balança com precisão de 1 g. Este material foi utilizado para mensurar os danos às plantas, causados pela ação da colhedora. Da mesma forma, o volume total em gramas foi dividido pelas seis plantas, resultando em valores em gramas planta⁻¹.

Em seguida os panos de derrça foram novamente colocados sob o dossel, para o cálculo do café remanescente, sendo então derrçados sobre os panos os frutos que ficaram aderidos ao cafeeiro após a passagem da colhedora. Após a derrça este volume total também foi colhido, quantificado e dividido pelas seis plantas correspondentes, conforme a metodologia utilizada para o café caído.

A eficiência de colheita foi mensurada utilizando-se o percentual dos valores de café caído e remanescente em relação à carga inicial. Assim, com base na carga de café nas plantas (produtividade) e na quantidade de café remanescente nas plantas e caído no solo após a passagem da colhedora, se tem o percentual de café que foi colhido, ou seja, a eficiência do processo de colheita (Equação 1).

$$E_c (\%) = \left(\frac{P_c - C_c - C_r}{P_c} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

Em que:

E_c = eficiência de colheita (%)

P_c = produtividade (L planta⁻¹);

C_c = café caído (L planta⁻¹);

C_r = café remanescente (L planta⁻¹).

Para a análise da eficiência de limpeza da colhedora e do índice de maturação dos frutos colhidos foram coletadas com recipiente graduado, amostras contendo três litros de material, diretamente na bica de descarga da colhedora. Estas amostras foram coletadas enquanto a colhedora realizava a colheita no ponto de avaliação previamente demarcado. Este volume foi posteriormente separado em impurezas vegetais e frutos colhidos, e suas respectivas massas foram aferidas em balança com precisão de 1 g, sendo então, com estes valores, calculada a eficiência de limpeza (Equação 2).

$$E_l = \left(\frac{P_i}{P_c + P_i} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

Em que:

E_l = eficiência de limpeza (%);

P_i = quantidade de impurezas (g);

P_c = quantidade de frutos de café (g).

Em seguida, o volume de frutos coletados foi separado por estágio de maturação em frutos verdes, cerejas e secos. Cada estágio teve seu volume mensurado utilizando-se recipiente graduado e, posteriormente, seu percentual em relação ao volume total foi calculado. Com estes valores foi analisado o índice de maturação dos frutos utilizando a equação adaptada de Silva et al. (2010) (Equação 3).

$$IM = \frac{(1.V\%) + (5.C\%) + (4.S\%)}{(V\% + C\% + S\%)} \quad (3)$$

Em que:

IM = Índice de maturação;

V% = percentual de frutos no estágio de maturação verde;

C% = percentual de frutos no estágio de maturação cereja;

S% = percentual de frutos no estágio de maturação seco.

Esta equação permite o cálculo do índice de maturação dos frutos de café, utilizando como referência o percentual de frutos nos estágios de maturação verde, cereja e seco. Desta forma, apresenta valores entre um e cinco, sendo que, se 100% dos frutos estiverem verdes o valor do índice de maturação será um; por outro lado, se todos os frutos estiverem no estágio cereja o índice será de cinco. Esta mesma metodologia foi utilizada para a análise dos índices de maturação dos frutos colhidos na avaliação de produtividade, de café caído e de café remanescente.

2.1 Estatística descritiva

Os resultados obtidos foram analisados utilizando a estatística descritiva por meio da média aritmética, mediana, desvio padrão e coeficientes de curtose, de assimetria e de variação. Para interpretação do coeficiente de variação (CV) foi utilizada a classificação apresentada por Pimentel-Gomes e Garcia (2002), classificando o CV como baixo (0 - 10%), médio (11 - 20%), alto (21 - 30%) e muito alto (> 30%). A normalidade dos dados foi verificada por meio das variáveis da estatística descritiva e pelo teste de Ryan-Joiner (Acock, 2018).

2.2 Controle Estatístico de Qualidade

Para a análise da qualidade da operação de colheita mecanizada, a primeira ferramenta do CEQ utilizada foram os gráficos sequenciais ("run charts"). Por meio destes é possível a identificação da ocorrência de padrões de não aleatoriedade, possibilitando o melhor monitoramento do processo como um todo, bem como identificar e classificar as variações dos dados ao longo do tempo (Werkema, 2011). Esta classificação agrupa o conjunto de dados em quatro tipos de padrões: mistura, agrupamento, oscilação e tendência.

O padrão de mistura ocorre quando não se tem pontos próximos da linha central (mediana), sendo que, misturas sucessivas indicam dados associados a duas populações distintas. O agrupamento se dá quando se tem grupos de pontos em uma área do gráfico, o que indica variações relacionadas a causas especiais, como problemas de medição. Quando os dados oscilam entre a parte superior da mediana e a parte inferior da mediana, indicando que o processo não é uniforme, tem-se o padrão de oscilação.

Já a tendência ocorre quando se tem a desuniformidade dos dados, acima ou abaixo da linha central, indicando que pontos fora da faixa de controle devem aparecer em um futuro próximo. Os valores do conjunto de dados com $p < 0,05$ indicam padrões não aleatórios significativos; por outro lado, valores com $p > 0,05$ não são significativos e indicam comportamento aleatório dos dados, ou seja, variação normal do processo.

Foram utilizadas também, as cartas de controle por variáveis, do tipo carta I-AM (individual – amplitude móvel), que permitem monitorar a média e a variação do processo quando se tem dados observados continuamente. Estas cartas possuem dois gráficos, sendo o superior com os pontos individuais de cada valor amostrado e o inferior corresponde à amplitude móvel calculada entre dois pontos sucessivos.

Para facilitar a interpretação das cartas de controle, todos os dados foram coletados no mesmo dia, primeiramente no período da manhã e em seguida no período da tarde, de forma que, nas representações gráficas a primeira metade dos pontos representam a avaliação no período da manhã e a outra metade a da tarde.

Ademais, as avaliações da produtividade e do seu índice de maturação, bem como, a maturação dos frutos do café remanescente e caído, além, da de danos às plantas foram realizadas de forma independente por face de exposição solar (Norte e Sul) do cafeeiro. Sendo que, primeiramente foram coletadas as amostras na face Sul da planta e em seguida as da face Norte.

Por outro lado, a maturação dos frutos colhidos e a eficiência de limpeza da colhedora não considerou a face da planta, pois no processo de colheita mecanizada avaliado os dois lados são colhidos ao mesmo tempo. Isto impede a análise por lado do cafeeiro, desta forma cada ponto destas variáveis representa a média das duas faces.

Para a identificação de causas não controladas no processo (causas especiais) foram definidos limites de controle, calculados com base no desvio padrão das variáveis, sendo, o limite de controle superior igual a média mais três vezes o desvio padrão e o limite de controle inferior à média menos três vezes o desvio, não sendo considerados valores inferiores a zero para o limite inferior.

Na interpretação das cartas de controle, é necessário se atentar para a ocorrência de pontos fora dos limites de controle, e quando estes ocorrem, é dito que o processo está fora de controle, ou seja, é um processo instável pela influência de causas especiais. A explicação para estas causas pode ser encontrada por meio dos fatores chamados “6 M’s” (mão de obra; matéria prima; método; medição; máquina; meio ambiente).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Estatística descritiva

A análise descritiva dos dados (Tabela 1) mostrou médias bem próximas das medianas, com variação inferior a 10% entre estes dois parâmetros para a maioria das variáveis analisadas, com exceção do café remanescente e do caído. Ademais, estes dois parâmetros, juntamente com a eficiência de colheita, tiveram os valores mais elevados de amplitude e de desvio padrão.

Tabela 1. Estatística descritiva dos parâmetros relacionados a qualidade da colheita mecanizada dos frutos de *C. arabica*.

Variável	Ano safra	Medidas da estatística descritiva							
		Média	Mediana	Amplitude	σ	CV (%)	Ck	Cs	T*
Eficiência de colheita (%)	2018/2019	90,88	92,53	17,31	4,89	5,38	-0,04	-0,88	n
	2019/2020	76,19	78,03	44,96	14,01	18,39	-0,14	-0,83	n
Índice de maturação do café colhido	2018/2019	3,68	3,72	0,49	0,19	5,04	-0,71	-0,76	n
	2019/2020	4,41	4,43	0,45	0,17	3,76	-1,03	-0,41	n
Danos (g planta ⁻¹)	2018/2019	0,16	0,16	0,12	0,03	19,79	0,11	0,39	n
	2019/2020	0,34	0,34	0,26	0,08	24,06	-0,85	0,05	n
Eficiência de limpeza (%)	2018/2019	99,58	99,56	0,40	0,17	0,17	-1,98	0,08	n
	2019/2020	98,47	98,62	1,89	0,62	0,63	2,45	-1,47	n
Produtividade (L planta ⁻¹)	2018/2019	3,19	3,10	3,60	0,92	28,84	0,29	0,17	n
	2019/2020	1,83	1,88	2,40	0,65	35,54	-0,58	0,10	n
Café caído (%)	2018/2019	5,01	3,96	12,09	3,34	66,75	0,97	1,06	n
	2019/2020	6,25	5,45	10,10	2,90	46,32	0,37	0,91	n
Café remanescente (%)	2018/2019	4,11	3,66	7,50	2,28	55,42	-0,40	0,79	n
	2019/2020	17,55	15,34	42,90	13,41	76,39	0,37	1,10	a
Índice de maturação do café da produtividade	2019/2020	4,35	4,36	0,65	0,19	4,48	-0,97	-0,13	n
Índice de maturação do café remanescente	2019/2020	4,21	4,24	1,31	0,41	9,85	-0,88	-0,55	n
Índice de maturação do café caído	2019/2020	4,20	4,24	0,60	0,15	3,66	1,02	-0,92	n

σ : Desvio padrão; CV: Coeficiente de variação; Ck: Coeficiente de curtose; Cs: Coeficiente de assimetria; T*: Teste de normalidade de Ryan-Joiner (n: Distribuição normal - $p > 0.05$; a: Distribuição não normal - $p < 0.05$).

Por outro lado, todos os índices de maturação (café colhido; café da produtividade; café caído e café remanescente), além da eficiência de limpeza da colhedora, tiveram baixos coeficientes de variação, contrastando com os valores de coeficiente de variação muito altos, observados para a quantidade de café caído no solo e remanescente nas plantas.

Esta alta variação do percentual de café remanescente e caído, contribui negativamente com a qualidade do processo de colheita, e pode ser resultante da grande heterogeneidade de maturação dos frutos do cafeeiro. Tal aspecto, é intrínseco a esta cultura, devido às inúmeras floradas que ocorrem em seu ciclo produtivo (Majerowicz e Söndahl, 2005; Nogueira et al., 2005), consequentemente

levando à grande variação da força necessária para desprender seus frutos durante a colheita.

Interessante observar, que a eficiência de limpeza, independentemente do ano safra teve média de eficiência acima de 99%, com média do coeficiente de variação de 0,40%. Tal resultado, demonstra a eficiência do sistema de limpeza da colhedora em separar os frutos colhidos das impurezas, como folhas e fragmentos de galhos, contribuindo com a qualidade da colheita. Quanto maior a pureza do café colhido, menores serão os custos de limpeza na pós-colheita e, conseqüentemente, menores as chances de perda da qualidade dos frutos.

De forma geral: 47,1; 11,8; 11,8; 29,4% dos tratamentos avaliados tiveram médias do coeficiente de variação classificadas como baixa, média, alta, ou muito alta, respectivamente. Além disto, a maioria também, teve os coeficientes de curtose e de assimetria bem próximos de zero, o que, resulta, em maior probabilidade de os dados terem distribuição normal próxima da média.

E de fato, analisando os dados de forma mais abrangente utilizando o teste de normalidade, mais de 94% das variáveis estudadas tiveram distribuição normal. Tais resultados são evidenciados principalmente pela grande proximidade entre a média e a mediana, além dos baixos coeficientes de variação da maioria dos resultados.

Os valores médios da eficiência de colheita, 90,9 e 76,2%, na safra 2018/2019 e 2019/2020, respectivamente, são considerados elevados, considerando que foi realizada apenas uma operação da colhedora (Cassia et al., 2013). Por outro lado, os valores médios de danos às plantas, de café caído nas duas safras e de café remanescente na primeira safra, podem ser considerados baixos em comparação a Santinato et al. (2015b).

3.2 Gráficos sequenciais

Analisando a ocorrência de padrões de causas especiais foi detectado o padrão de agrupamento para a eficiência de colheita na safra 2019/2020 (Tabela 2), devido ao fato que os pontos ficaram agrupados no início da avaliação no período da tarde, com valores próximos e acima da média.

Tabela 2. Valores de probabilidade para verificação da ocorrência de padrões relacionados a qualidade da colheita mecanizada dos frutos de *C. arabica*.

Variável	Ano safra	Padrões			
		Agrupamento	Mistura	Tendência	Oscilação
Eficiência de colheita (%)	2018/2019	0,70 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,80 ^{ns}
	2019/2020	0,02 [*]	0,98 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,58 ^{ns}
Índice de maturação do café colhido	2018/2019	0,50 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,97 ^{ns}	0,03 [*]
	2019/2020	0,50 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,97 ^{ns}	0,03 [*]
Danos (g planta ⁻¹)	2018/2019	0,50 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,95 ^{ns}	0,05 [*]
	2019/2020	0,30 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,95 ^{ns}	0,05 [*]
Eficiência de limpeza (%)	2018/2019	0,50 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,50 ^{ns}
	2019/2020	0,50 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,83 ^{ns}
Produtividade (L planta ⁻¹)	2018/2019	0,30 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,95 ^{ns}	0,05 [*]
	2019/2020	0,06 ^{ns}	0,94 ^{ns}	0,95 ^{ns}	0,05 [*]
Café caído (%)	2018/2019	0,70 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,80 ^{ns}
	2019/2020	0,50 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,80 ^{ns}
Café remanescente (%)	2018/2019	0,30 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,34 ^{ns}
	2019/2020	0,02 [*]	0,98 ^{ns}	0,02 [*]	0,98 ^{ns}
Índice de maturação do café da produtividade	2019/2020	0,50 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,80 ^{ns}
Índice de maturação do café caído	2019/2020	0,15 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,02 [*]	0,98 ^{ns}
Índice de maturação do café remanescente	2019/2020	0,06 ^{ns}	0,94 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,93 ^{ns}

* Valores padrões de não aleatoriedade detectados pelo teste de probabilidade a $p < 0,05$; ns Valores padrões de aleatoriedade detectados pelo teste de probabilidade a $p > 0,05$.

Este padrão não aleatório pode ter ocorrido, em função, do grau de maturação dos frutos nestes pontos de colheita, hipótese que é reforçada quando se observa os maiores valores de índice de maturação para estes mesmos locais. Assim, analisando o percentual de frutos colhidos, por estágio de maturação, nos pontos onde ocorreram o padrão de agrupamento, observou-se que os percentuais médios de frutos verdes foram os menores, os de cereja os maiores e os de secos os maiores/intermediários, em relação ao demais locais de avaliação.

Ademais, o percentual de café remanescente, que também, teve o padrão de agrupamento neste ano safra, analisando os pontos agrupados, observou-se que estes coincidem com os mesmos locais do agrupamento detectado para a eficiência de colheita. Desta forma, este menor percentual de frutos verdes e maior de cerejas e secos, contribuiu com o maior percentual de frutos colhidos, o que, conseqüentemente, reduziu o café remanescente nas plantas após a passada da colhedora.

Para o café remanescente, também foi observado o padrão de tendência na safra 2019/2020, o que, está ligado mais uma vez aos pontos com maior percentual de frutos maduros, observados anteriormente. Pois, ocorreu tendência de redução do café remanescente nas plantas em decorrência destes pontos, os quais, possuíam maior percentual de frutos cerejas e secos. Estes frutos se desprendem mais facilmente do cafeeiro, quando comparados aos frutos verdes (Crisosto e Nagao, 1991).

Analisando o índice de maturação dos frutos de café caído na safra 2019/2020, tem-se também o padrão de tendência. Este fato, pode ser mais uma vez em função da variação do grau de maturação dos frutos de café dentro da lavoura, a qual, ocorre em função de suas inúmeras floradas e conseqüente grande heterogeneidade de maturação dos frutos (Majerowicz e Söndahl, 2005; Nogueira et al., 2005).

Por fim, avaliando as variáveis índice de maturação do café colhido, danos às plantas e produtividade da lavoura, é interessante notar que independentemente do ano safra, o único padrão não aleatório detectado foi o de oscilação, indicando que estes processos não são constantes.

Primeiramente, analisando o índice de maturação do café colhido, observa-se que a face Sul, sempre teve valor inferior ao da face Norte. Isto indica que esta face que tem maior exposição solar ao longo do ano, tendo assim maturação mais acelerada em relação a face oposta.

Em relação aos danos às plantas, observa-se esta mesma relação entre as faces do cafeeiro, em que, em mais de 87% dos pontos avaliados, independentemente do ano safra, a face Norte teve valor maior de danos em relação a face Sul. Isto, pode ser em decorrência da discrepância de produtividade constatada entre os dois lados das plantas.

Em que, a face Norte sempre teve maior volume de frutos em relação a Sul, sendo em média esta diferença maior que 36%, o que, resultou no padrão de oscilação também para esta variável. O volume de frutos de café na carga inicial tem relação diretamente proporcional com os danos pós colheita, ou seja, quanto maior a produtividade, maior será o potencial de queda de folhas e ramos das plantas (Santinato et al., 2014).

Assim, observou-se que a face de exposição solar das plantas e o estágio de maturação dos frutos, podem ser as principais causas dos padrões não aleatórios detectados nos processos, os quais, estão diretamente relacionados com a qualidade da operação de colheita mecanizada seletiva do café.

Estes padrões não aleatórios evidenciam comportamento não aleatório dos dados, o que pode indicar a atuação de causas especiais nestes processos. A ocorrência de causas especiais pode ser explicada por meio dos fatores “6 M’s”: mão de obra; matéria prima; método; medição; máquina; meio ambiente (Noronha et al., 2011). Sendo que assim, o estágio de maturação dos frutos são a matéria prima e o período do dia, o terço da planta e a face de exposição solar constituem o meio ambiente.

No ano safra 2018/2019 as variáveis eficiência de colheita e café remanescente, além de, eficiência de limpeza da colhedora e café caído, em ambas as safras, e os índices de maturação do café da produtividade e do café remanescente avaliados na safra 2019/2020, apresentam processos sem a ocorrência de causas especiais. Isto, indica a existência somente de causas comuns de variação, as quais, são aleatórias, sendo a variação observada nestes processos inerente aos mesmos. No entanto, para análise mais precisa da ocorrência de causas especiais deve se analisar as cartas de controle, que são apresentadas a seguir.

3.3 Cartas de controle

Analisando os resultados das safras 2018/2019 e 2019/2020, observa-se estabilidade na grande maioria dos processos avaliados (Figuras 4 e 5), exceto para os de danos causados pela colhedora e para o índice de maturação do café remanescente.

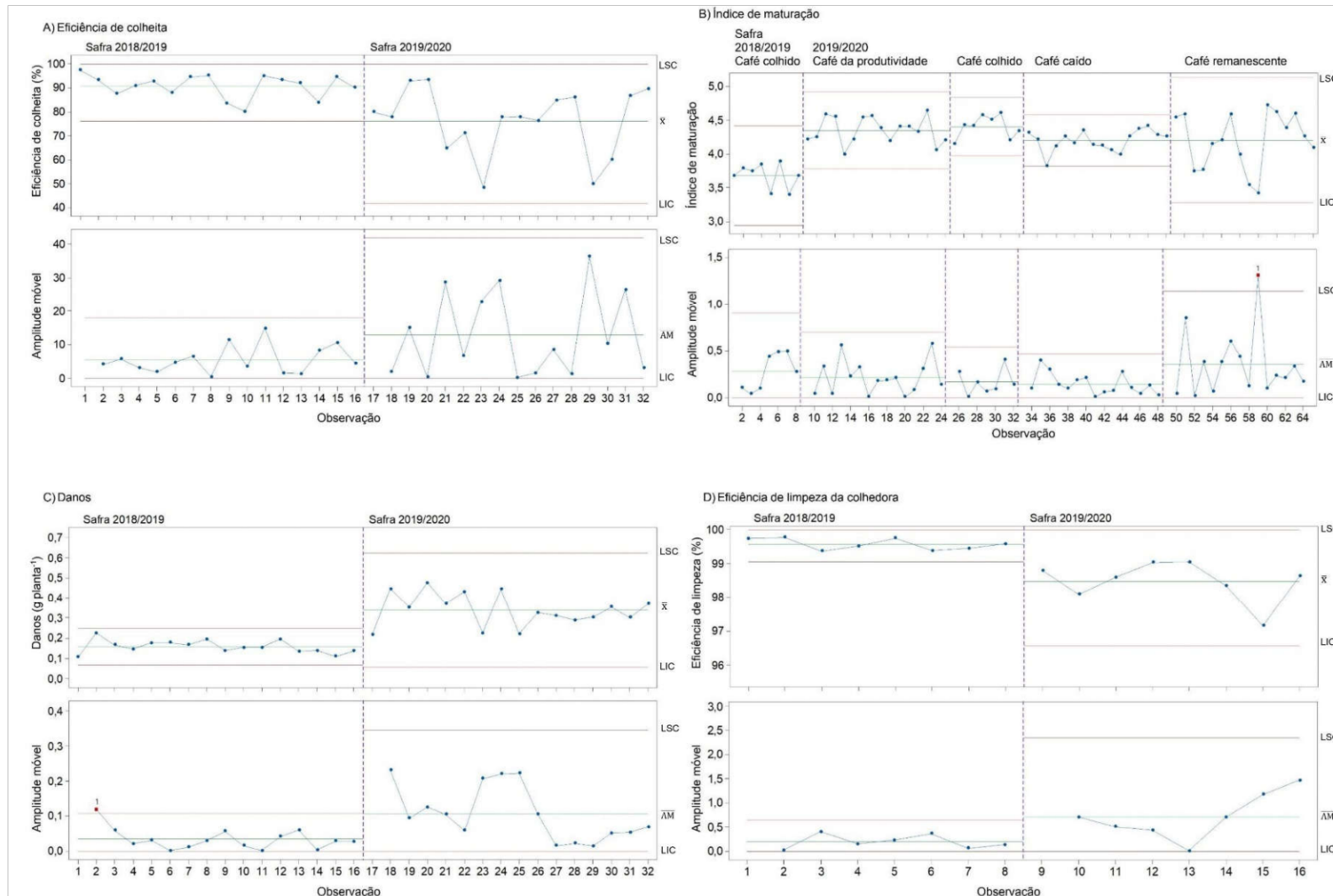


Figura 4. Cartas de controle individual e de amplitude móvel da eficiência de colheita (A), índice de maturação (B), danos (C) e eficiência de limpeza da colhedora (D) em duas safras consecutivas. Limite superior de controle (LSC), limite inferior de controle (LIC), média (\bar{x}), média da amplitude móvel (\overline{AM}).

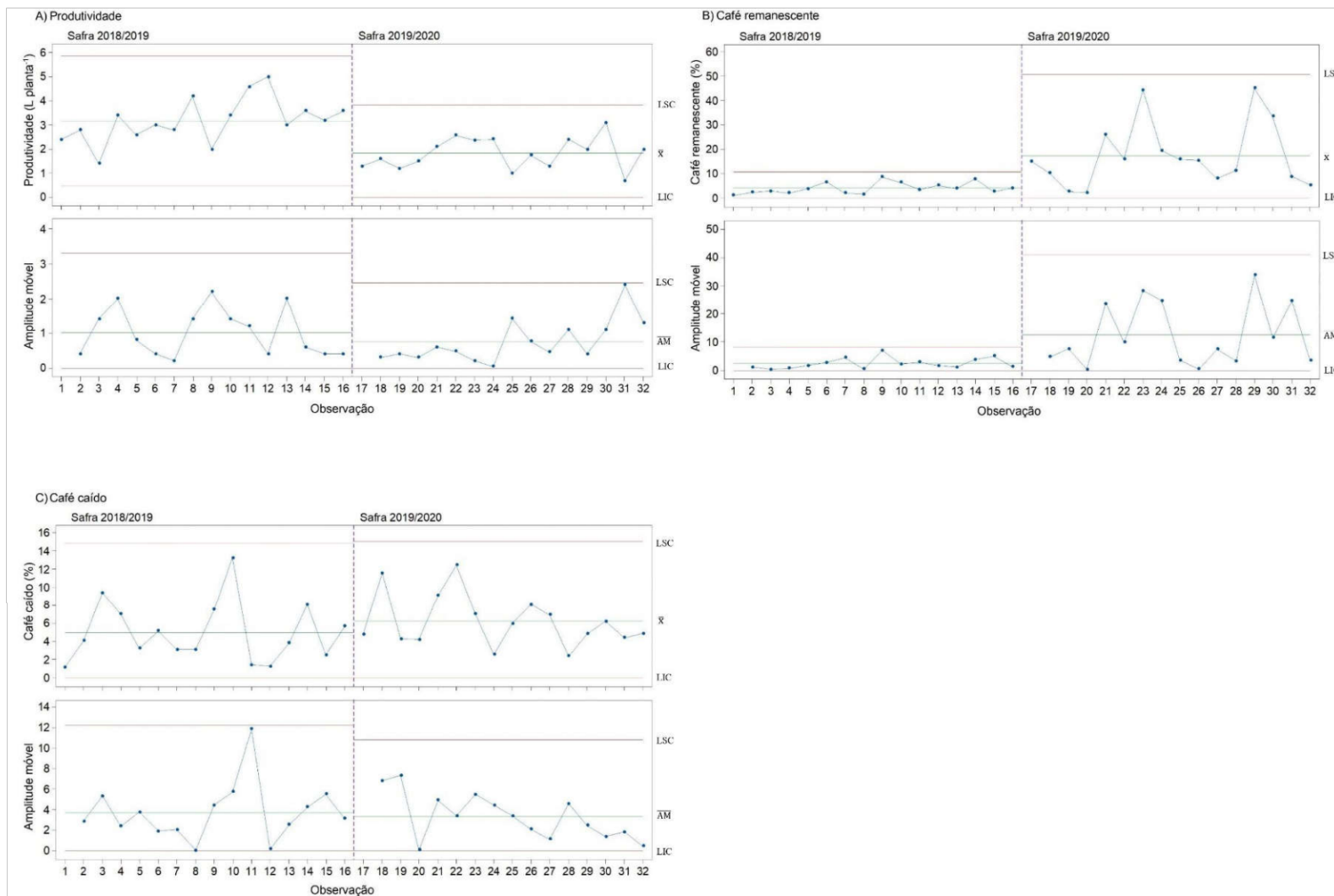


Figura 5. Cartas de controle individual e de amplitude móvel da produtividade da lavoura (A), café remanescente (B) e café caído (C) em duas safras consecutivas. Limite superior de controle (LSC), limite inferior de controle (LIC), média (\bar{x}), média da amplitude móvel (\overline{AM}).

A eficiência de colheita na primeira safra teve eficiência média de 90,88% e na segunda 76,19%, estes resultados são em função de mais de 80% dos frutos estarem maduros (frutos cerejas e secos) no momento da colheita (Figura 4A). No entanto, comparando as duas safras, a eficiência de colheita na safra 2018/2019 foi mais de 19% maior que na segunda safra, em função, dos percentuais de frutos cerejas e secos que compõem os frutos maduros.

A capacidade de derrça da colhedora é diretamente proporcional ao percentual de frutos maduros, ou seja, quanto maior for o volume de frutos maduros em relação ao volume total presente no cafeeiro, maior será eficiência de colheita (Souza et al., 2006). Na primeira safra tinha-se 21,85% e 60,26%, na segunda 82,44% e 3,74%, de frutos nos estádios cereja e seco, respectivamente. Por outro lado, os valores de frutos verdes foram mais próximos entre si, em que, os percentuais foram de 17,90% e 13,83%, na primeira e segunda safra, respectivamente.

O peso do percentual de cada estágio de maturação pode ser melhor observado pelo índice de maturação do café colhido (Figura 4B), na safra 2018/2019, tem se valores mais próximos de 3,68 e na safra seguinte a 4,41. Quando o índice de maturação possui valores mais próximos de três, o maior percentual de frutos está no estágio de maturação seco, por outro lado, valores superiores a quatro e mais próximos de cinco, indicam percentual maior de frutos cereja.

O índice de maturação igual ou superior a quatro, indica o período mais favorável para o início do processo de colheita mecanizada seletiva (Mesquita et al., 2016). Pois, cada estágio de maturação exige uma força para se desprender do cafeeiro, esta diferença de força de desprendimento é uma valiosa informação que auxilia na gestão da colheita, permitindo regulagens da colhedora para o aumento da eficiência de colheita dos frutos maduros, em especial dos frutos cereja (Barros et al., 2018). Desta forma, na tomada de decisão da realização da colheita mecanizada seletiva, além de se considerar o percentual total de frutos maduros, é fundamental analisar a relação entre frutos cerejas e secos que compõe esse parâmetro.

Comparando-se na safra 2019/2020, os índices de maturação do café da produtividade e do café colhido, tem-se médias bem próximas, no entanto, por causa

da força exigida para o desprendimento de cada estágio de maturação, nota-se leve diferença. Na qual, o café colhido teve volume 8,97 e 2,52% maior de frutos cerejas e verdes, respectivamente, além de, 65,62% a menos de frutos secos, em comparação ao café coletado na avaliação de produtividade.

Isto ocorreu, em função dos frutos secos exigirem menor força de desprendimento, facilitando o seu arremesso para fora do sistema de coleta da colhedora, em comparação aos frutos verdes e cerejas (Ciro, 2001). Esta mesma influência do estágio de maturação dos frutos, também pode ser notada, analisando os índices de maturação do café remanescente e do café caído.

Apesar destes terem apresentado valores médios bem próximos, observa-se variação bem maior do processo no café remanescente. O qual, apresentou 145% menos frutos no estágio de maturação seco, em comparação ao café caído, justamente por essa maior facilidade de colheita e perda dos frutos neste avançado grau de maturação.

Observando os danos às plantas, pela carta de amplitude móvel é possível observar a instabilidade do processo, que ocorreu devido a diferença considerável entre os dois primeiros pontos de avaliação da safra 2018/2019 (Figura 4C). Comparando as duas safras, em valores médios, houve aumento de mais de 112% de danos na segunda safra, em relação a primeira.

Este incremento ocorreu devido ao maior tempo de exposição das plantas a operação de colheita mecanizada (Aristizábal et al., 2003), o qual foi maior na safra 2019/2020, em função da redução da velocidade de trabalho e aumento da vibração das hastes da colhedora, em comparação a safra anterior.

A eficiência de limpeza da colhedora foi afetada pelo maior tempo de exposição das plantas a colheita mecanizada na safra 2019/2020, em que, mesmo o volume de café presente nas plantas sendo menor em relação à safra 2018/2019, a eficiência de limpeza foi menor e teve maior variação em seu processo (Figura 4D). O maior volume de folhas e fragmentos de galhos desprendidos das plantas na safra 2019/2020, o qual, pode ser confirmado pela avaliação de danos, dificultou o processo de separação dos frutos destas impurezas pela colhedora.

Em relação a produtividade, tendo-se em vista, que cada par de pontos representa um local de avaliação, sendo que o primeiro ponto sempre corresponde a

face Sul e o segundo a face Norte, é interessante observar que o lado do cafeeiro voltado para o Sul sempre teve carga inicial inferior a face Norte (Figura 5A). A disposição das plantas de café, em relação ao trajeto que o sol percorre no céu ao longo do ano, tem influência direta na sua produtividade.

A face do cafeeiro com maior exposição solar anual possui maior potencial de produção, em comparação a face oposta menos iluminada (Alves, 2005). Isto, ocorre devido a maior incidência solar aumentar a assimilação de carbono e produção de flores, em vez, de brotos vegetativos, além, do aumento do número de nós formados por ramo e de brotos de flores nos nós já existentes (DaMatta, 2004).

Para os percentuais de café remanescente e caído, observa-se processos sobre controle, no entanto, nota-se que, o café remanescente, como a eficiência de colheita e os danos, também foi influenciado pelo grau de maturação da lavoura (Figuras 5B e 5C). Em que, no primeiro ano, com a lavoura tendo a maioria dos frutos no estágio seco, teve-se maior eficiência de colheita, e menores quantidades de danos às plantas e de café remanescente.

Porém, para o café caído, nota-se que para as condições avaliadas, esta variável está mais relacionada com a eficiência do sistema de coleta e limpeza de frutos da colhedora (Oliveira et al., 2007), do que, com a produtividade e maturação dos frutos. Pois, comparando as duas safras, mesmo com as discrepâncias de produtividade e de maturação dos frutos, tem-se, percentuais de café caído e variação destes bem próximos.

Por fim, pode se inferir que os processos de eficiência de colheita, dos índices de maturação do café colhido, café da produtividade e café caído, além, da eficiência de limpeza da colhedora, da produtividade da lavoura e dos volumes de café remanescente e caído após a colheita mecanizada, estavam sujeitos apenas a causas comuns de variação, as quais, são inerentes a estes processos.

Por outro lado, os danos causados as plantas e o índice de maturação do café remanescente nas plantas após a colheita, apresentaram processos instáveis. Sendo que, em ambos os casos, a instabilidade foi detectada pela existência de um ponto fora do limite superior de controle, nas suas respectivas cartas de amplitude móvel, o que, indicou mudança abrupta de valores observados nas cartas de valores individuais.

4 CONCLUSÕES

A qualidade da colheita mecanizada do café é mais afetada pela exposição solar do cafeeiro e o grau de maturação de seus frutos, do que pelo período do dia.

A face com maior exposição solar anual e conseqüentemente com maior carga inicial, está sujeita a maiores danos durante o processo de colheita mecanizada.

O maior tempo de exposição das plantas à ação da colhedora, além de aumentar os danos, reduz a eficiência do processo do sistema de limpeza da mesma.

5 Agradecimentos

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

6 REFERÊNCIAS

Acock AC (2018) A gentle introduction to Stata. 6 ed. College Station: Stata Press, 614p.

Alves EA (2005) **Análise da variabilidade espacial da qualidade do café cereja produzido em região de montanha**. 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

Amaral JAT, Rena AB, Amaral JFT (2006) Crescimento vegetativo sazonal do cafeeiro e sua relação com fotoperíodo, frutificação, resistência estomática e fotossíntese. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 41:377-384.

Aristizábal TID, Oliveiros TCE, Alvarez MF (2003) Mechanical harvest of coffee applying circular and multidirectional vibrations. **Transactions of the ASABE** 46:205-209.

Arruda NP, Hovell AMC, Rezende CM, Freitas SP, Couri S, Bizzo HR (2011) Discriminação entre estádios de maturação e tipos de processamento de pós-colheita de cafés arábica por microextração em fase sólida e análise de componentes principais. **Química Nova** 34:819-824.

Barros FF, Milan M (2010) Qualidade operacional do plantio de cana-de-açúcar. **Bragantia** 69:221-229.

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** 22:366-370.

Cassia MT, Silva RP, Chioderolli RHFN, Santos EP (2013) Quality of mechanized coffee harvesting in circular planting system. **Ciência Rural** 43:28-34.

Ciro HJV (2001) Coffee harvesting I: Determination of the natural frequencies of the fruit stem system in coffee trees. **Applied Engineering in Agriculture** 17:475-479.

Compagnon AM, Silva RP, Cassia MT, Graat D, Voltarelli MA (2012) Comparação de métodos de perdas na colheita mecanizada de soja. **Revista Scientia Agropecuaria** 3:1-5.

Crisosto CH, Nagao MA (1991) Evaluation of Fruit Removal Force of Coffee Cultivars. **HortScience** 26:210-230.

DaMatta FM (2004) Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: A review. **Field Crops Research** 86:99-114.

Figueiredo VC, Silva Ferraz GA, Silva FM, Conceição FG, Carvalho LCC (2017). Analysis of spatial variability of force detachment of coffee fruits in central pivot. **Coffee Science** 12:84-92.

Majerowicz N, Söndahl MR (2005) Induction and differentiation of reproductive buds in *Coffea arabica* L. **Brazilian Journal of Plant Physiology** 17:247-254.

Mesquita CM, Rezende JE, Carvalho JS, Fabri Júnior MA, Moraes NC, Dias PT, Carvalho RM, Araújo WG (2016) Manual do café: colheita e preparo (*Coffea arábica* L.). Belo Horizonte: EMATER-MG, 52p.

Nogueira ÂM, Carvalho SP, Bartholo GF, Mendes ANG (2005) Avaliação da maturação dos frutos de linhagens das cultivares Catuaí Amarelo e Catuaí Vermelho (*Coffea arabica* L.) plantadas individualmente e em combinações. **Ciência e Agrotecnologia** 29:18-26.

Noronha RHF, Silva RP, Chioderoli CA, Santos EP, Cassia MT (2011) Statistical control applied in the process of mechanical sugar cane harvest in the diurnal and nocturnal periods. **Bragantia** 70:931-938.

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** 27:714-721.

Peel MC, Finlayson BL, McMahon TA (2007) Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences** 11:1633-1644.

Pimentel-Gomes F, Garcia CH (2002) Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários “Luiz de Queiroz” (FEALQ), 309p.

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

Santinato F, Ruas RAA, Silva RP, Carvalho Filho A, Santinato R (2015a) Número de operações mecanizadas na colheita do café. **Ciência Rural** 45:1809-1814.

Silva FC, Silva FM, Alves MC, Barros MM, Sales RS (2010) Comportamento da força de desprendimento dos frutos de cafeeiros ao longo do período de colheita. **Ciência e Agrotecnologia** 34:468-474.

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** 19:1215-1219.

Silva RP, Voltarelli MA, Cassia MT (2015) Controle de qualidade em operações agrícolas mecanizadas. 1. ed. Jaboticabal: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 244p.

Souza CMA, Queiroz DM, Rafull LZL (2006) Derrçadora portátil na colheita total e seletiva de frutos do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 41:1637-1642.

Souza RA (2003) **Análise da qualidade de processo de envase de azeitonas verdes através de algumas ferramentas do controle estatístico de processo**. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Werkema C (2011) Lean seis sigma: introdução às ferramentas do lean manufacturing. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 94p.

CAPÍTULO 5 – Considerações finais

Este trabalho mostrou que o comportamento da força necessária para o desprendimento dos frutos do cafeeiro, além de ser influenciado pelo estágio de maturação dos grãos, varia conforme a intensidade da exposição solar da planta e o período do dia que está sendo realizada a colheita. Ademais, foi investigado e confirmado, que do ponto de vista da colheita mecanizada seletiva, existe um melhor horário do dia para realizar esta operação.

A menor exigência de força para o desprendimento dos frutos cereja do cafeeiro no período da tarde, juntamente com a menor variação do processo de destacamento destes frutos neste momento do dia, levantam a hipótese de que, regulagens com menor tempo de exposição da planta no período da tarde, podem aumentar a qualidade da operação de colheita mecanizada. Pois, além do aumento da capacidade operacional, e do percentual de frutos cereja colhidos e os de verdes remanescentes nas plantas, após a primeira passada da colhedora, poderá ser reduzido os danos na lavoura, em função da ação da máquina.

Na avaliação da colheita, foi mostrado o comportamento deste processo durante o dia e conforme a intensidade de exposição solar das faces do cafeeiro, sendo observada influência destas variáveis na qualidade do processo de colheita mecanizada do café. Observando-se que a qualidade da colheita mecanizada teve maior influência da intensidade de exposição solar e o grau de maturação da lavoura, em comparação ao período do dia.

A maior exposição solar anual de um dos lados do cafeeiro, conseqüentemente, aumenta a sua carga inicial, estando assim, propício a maiores danos durante o processo de colheita mecanizada, em relação ao lado oposto com menor exposição a luz solar. Em relação, ao tempo de exposição das plantas a ação dos componentes da colhedora, o aumento deste, além de causar mais danos ao cafeeiro, reduziu a eficiência do processo de limpeza da colhedora, contribuindo negativamente com a qualidade final da operação.

Desta forma, trabalhos futuros poderão dar continuidade a este estudo, avaliando a eficiência de regulagens automatizadas da colhedora, não somente conforme o grau de maturação da lavoura, mas também, de acordo com a exposição

solar da face da planta colhida, o período do dia em que a operação está sendo realizada e as suas respectivas condições climáticas. Uma colheita mecanizada com taxa variável do tempo de exposição da planta à ação da colhedora, de acordo com tais variáveis, pode contribuir para o aumento da eficiência do processo de colheita mecanizada, valorizando e qualificando assim ainda mais, o trabalho dos cafeicultores.

Este aumento de valor agregado, é fator crucial para os agricultores contrabalancearem os aumentos contínuos dos custos de produção, além de, favorecer a comercialização internacional da safra, aumentando o nível de qualidade do café brasileiro em relação ao de outros países. Ademais, a maior movimentação financeira dentro da cadeia produtiva cafeeira nacional, pode contribuir positivamente com o aumento da distribuição de renda, por meio dos maiores investimentos necessários para o desenvolvimento e melhoria das atividades que compõem a cafeicultura.